연구용역
최 종 보 고 서

목탄을 이용한 친환경 건축자재 이용기술 개발

주관기관
고려대학교

산 림 청

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

연구용역
최 종 보 고 서

목탄을 이용한 친환경 건축자재 이용기술 개발

주관기관
고려대학교

산 림 청

제 출 문

산림청장 귀하

본 보고서를 “목탄을 이용한 친환경 건축자재 이용기술 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

제출일시: 2006년 7월 일

과제수행 참여연구원

과 제 명	연구 책임자		연구수행 참여자	
	소속기관	성 명	소속기관	성 명
목탄을 이용한 친환경 건축자재 이용기술 개발	고려대학교	백기현	고려대학교	이성규
				이준영
	국립산림과학원	조태수	국립산림과학원	최돈하
				안병준
				최준원
				이오규
	(주)금한기술 (구, 와이드 眞)	황지영		
	한국임산탄화물협회	유수길		

목 차

1. 서론 ---------- 1

2. 재료 및 방법 ---------- 6
가. 실험동 건물 신축 ---------- 6
1) 일반 콘크리트 건물 (A동) ---------- 6
2) 목탄 건축자재 건물 (B동) ---------- 6
3) 목탄 건축자재 건물 (C동) ---------- 7
나. 건물 부대시설 및 장비 ---------- 17
1) 보일러 설치 ---------- 17
2) 소형 정밀 터빈 유량계 설치 ---------- 18
3) 기름 절감량 및 축열량 측정을 위한 자동 온도 기록장치 설치 및 온도 센서 케이블 연결 ---------- 18
다. 목탄 건축자재의 제조방법 ---------- 25
1) 목탄 액상 모르타르 제조방법 ---------- 25
2) 숯 자갈(숯 볼) 제조방법 ---------- 26
3) 참숯 모르타르 제조방법 ---------- 27
4) 바이오 숯 모르타르 제조 방법 ---------- 27
라. 목탄 건축자재의 물성분석 ---------- 27
1) 액상 모르타르 물성 분석 ---------- 27
2) 참숯 모르타르 물성 분석 ---------- 28
마. 층간 소음 측정 ---------- 29
1) 시험 방법 ---------- 29
바. 결로 현상 측정 ---------- 35
사. VOC 및 HCHO 분석 ---------- 36
1) VOCs 분석 ---------- 36
2) HCHO 분석 ---------- 43

3. 결과 및 고찰 -- 45
가. 목탄 및 목탄 건축자재의 기본물성 조사 -------------------- 45
1) 공시 목탄의 물성 ------------------------------------ 45
2) 목탄 액상 모르타르 물성 ------------------------------ 49
3) 참숯 모르타르 물성 ----------------------------------- 53
나. 건축자재의 종류에 따른 보일러 기름 절감량 ---------------- 57
1) 실험동 주위에 천막을 친 경우의 기름 소비량 ------------- 57
2) 실험동 주위에 천막을 제거한 경우의 기름소비량 ---------- 60
다. 목탄 건축자재의 종류에 따른 축열량 ---------------------- 62
1) 실측에 의한 축열효과 --------------------------------- 62
2) 각 실험동에 있어서 20℃에 이르는 경과시간 -------------- 65
3) 비온도에 의한 축열효과 ------------------------------- 66
라. 층간 소음 -- 69
마. 결로 현상 -- 71
1) 현 상태에서 온·습도 및 결로점 변화 --------------------- 72
2) 실내에 가습할 경우 온·습도 및 결로점 변화 -------------- 72
바. 목탄 건축물의 실내 공기질 평가 -------------------------- 74
1) 포름알데히드(HCHO) 제거 효과 ------------------------ 74
2) VOCs 제거 효과 -------------------------------------- 79
사. 목탄 생산량, 목탄 건축자재 및 경제성 분석 ---------------- 87
1) 목탄생산량 및 목탄 건축자재 -------------------------- 87
2) 경제성 분석 -- 89

4. 결론 -- 99

5. 참고문헌 -- 104
<부록> -- 106

1. 서 론

최근 경제 성장과 더불어 전 세계적으로 환경오염이 심각한 문제로 부각되고 있다. 더불어서 대부분의 시간을 실내에 거주하는 현대인들의 생활 패턴에 따라 주거 공간에서 발생되는 새집 증후군(Sick House Syndrome) 또는 신축 빌딩 증후군 (Sick Building Syndrome)에 의한 피해가 부각되면서 다중 이용 시설내 공기질 관리에 대한 관심이 증가하고 있다.

실내공기오염은 매우 다양하고 복잡한 원인에 의해 발생되며, 오염된 공기가 실내로 유입되거나 연소와 흡연 등과 같은 거주자의 활동 그리고 단열재와 내부 마감재 등과 같은 건축자재 및 생활용품 등에서 비롯된다. 즉 일부 비닐벽지(폴리염화비닐계, 가소제, 안정제, 방연제 등 함유)와 벽지(접착제), 카펫과 커튼(라텍스, 폴리에스테르, 아크릴 등), 내장제인 합판과 섬유판(접착제), 단열재(폴리스틸렌폼), 건자재 및 가구의 표면 도장(아미노알키드수지, 아크릴우레탄수지도료) 등이 문제이다. 여기에서 나오는 formaldehyde와 TVOCs로 인해 건물의 실내 공기가 악화되면서 신축건물에서 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감소 등을 호소하는 빌딩증후군이라는 새로운 증상이 나타나 실내환경의 중요성에 대해 큰 관심을 갖게 되었다(1, 2). 이러한 일련의 동향은 다양한 합성 물질이 함유된 건축자재의 사용이 증가되고 있는 반면, 일반인들은 로하스(LOHAS: Lifestyle of Health and Sustainability) 열풍에 힘입어 환경과 건강 그리고 안전을 지향하는 주거환경에 대한 관심이 높아진데 기인한다.

미국환경청(EPA)은 실내공기 오염의 심각성과 인체위해성에 대한 사람들의 무관심을 경고하였으며 가장 시급히 처리해야 할 환경문제 중 하나라고 발표하였다. 세계보건기구(WHO)는 대기오염에 의한 사망자 수는 연간 최대 600만 명이며 실내공기오염에 의한 사망자는 280만 명에 이르고, 실내 오염물질이 실외 오염물질보다 폐에 전달될 확률은 약 천배 높다고 추정하고 있다. 또한 WHO는 실내공기를 단순한‘매체관리’차원에서 벗어나 UN헌장에서 명시하고 있는 ‘인간의 기본권’ 차원에서 다룰 것을 요구하며, ‘건강한 실내공기에 대한 권리(The Right

of Healthy Indoor Air)'라는 선언문을 채택(2000.5)하기도 하였다.

일본에서는 이러한 현상을 새집증후군으로 명명하고, 1997년부터 포름알데히드 및 VOCs에 대한 가이드라인을 설정하고, 건축기준법 및 건축재료 측정방법 등을 제정하는 등 많은 노력을 기울이고 있다(3).

국내에서도 새집증후군과 복합화합물질과민증(MCS, Multi Chemical Substances) 등과 같은 실내오염의 사회적 관심 증가로 환경부에서는 2003년 5월 실내공기질의 합리적인 관리를 위해 기존의 「지하생활공간공기관리법」을 「다중이용시설등의실내공기질관리법」으로 대폭 개정하여 공포하였으며, 2004년 5월 30일부터 시행하고 있다.「다중이용시설등의 실내공기질관리법」은 크게 다중이용시설 실내공기질관리, 오염물질 방출 건축자재 관리, 신축공동주택 실내공기질관리 등으로 대별된다. 먼저 적용대상 다중이용시설을 종전의 지하역사, 지하도상가에서 도서관, 의료기관, 터미널, 찜질방, 대규모점포 등 17개 시설군으로 확대하였으며, 실내오염물질중 미세먼지, 이산화탄소, 일산화탄소, 총부유세균, 포름알데히드 등 5개 물질은 유지기준으로 설정하여 위반시 과태료부과 등 제제를 하고, 이산화질소, 라돈, 총휘발성유기화합물, 석면, 오존 등 5개 물질은 권고기준을 설정하여 자발적 준수를 유도하고 있다(4).

포름알데히드, 총휘발성유기화합물 등의 오염물질을 기준 이상으로 방출하는 건축자재를 관계부처와 협의하여 고시하고, 다중이용시설에 사용을 금지하고 있으며, 신축공동주택 시공자는 주민입주전 새집증후군의 주원인물질인 포름알데히드, 휘발성유기화합물(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌) 등을 측정하여 그 측정 결과를 지자체 장에게 제출하고 주민들이 확인이 용이한 장소에 60일간 공고하도록 되어 있다(2, 5).

2004년5월30일 이후에 사업계획을 승인받거나 건축허가를 신청한 100세대 이상의 아파트를 시공하는 자는 주민이 입주하기 전에 실내공기질을 측정하여 공고하도록 되어 있으나 공고된 실내공기질이 적정한지를 판단할 기준이 없었다.

그러나 신축공동주택에 대한 실내공기질 권고기준이 마련되어 2006년 1월1일부터 적용됨으로서 입주민은 새아파트의 실내공기질이 적정한지를 판단할 수 있게 되었다. 특히 주택 실내의 경우 전자는 100㎍/m3 그리고 후자는 400㎍/m3로 규정하고 있다(4).

이러한 국내·외적인 여건변화와 소비자의 요구에 따라 건축 및 건축자재업체들은 환경친화적인 소재의 개발과 사용을 통한 「자연 경영」으로 활로를 모색하고 있다. 또한 건축물 내부에서 발생되는 공기 오염물질을 제거하기 위한 연구도 다각적으로 진행되고 있다. 즉 단열재를 유리섬유, 습식 섬유판, 및 칩 보오드 등의로 대체, 건자재 표면을 도장하고 밀봉, 비 formaldehyde계나 천연물 접착제 이용, 무 용제성 UV 경화용 도료, 수용성 도료, 및 저온 경화용 분체 도료 사용, 건축물 소재에 저공해용 접착제, 가소제 및 방부제 사용, 광 촉매와 유기물 분해 상온 촉매에 의한 formaldehyde scavenger로 정화 시트 제조 등이 개발 이용되고 있다(6, 7).

한편 목재탄화를 통해 생산되는 목탄은 친환경적인 소재로 다양한 분야의 자재로 부각되고 있다. 이러한 이유는 목탄의 높은 흡수성 및 흡착성에 기인한다. 따라서 목탄은 현재 토양개량제, 녹화용 자재, 토양 미생물 증식, 정화재, 및 알칼리수 제조 등에 널리 이용되고 있다. 또한 정화 시트로 숯 초배지, 숯 판넬, 및 숯이 함유된 장판 등이 개발되었다(8).

목탄은 생산하는 방식에 따라 가장 원시적인 방법인 무개제탄법(無蓋製炭法), 갱내제탄법(坑內製炭法), 퇴적제탄법(堆積製炭法), 한국, 일본, 중국 등지에서 예로부터 사용해 오던 방법인 축요제탄법(築窯製炭法), 평요제탄법(平窯製炭法), 이동식탄화법(乾溜炭化法), 건류탄화법(乾溜炭化法) 등으로 구분할 수 있다. 특히 축요제탄법은 일반인들에게 알려져 있는 흑탄, 백탄을 구분하는 제탄방식이다. 진흙, 돌, 내화벽돌, 단열시멘트, 콘크리트, 철판 등으로 제탄요를 축조하여 탄화시키며 질이 좋은 숯을 만들 수 있다. 탄요와 탄화조작의 차이에 따라 흑탄요는 진흙을 사용하여 만들며 탄재를 넣어 350~400℃로 탄화시키고 최후에 약 70

0℃로 온도를 높여 숯을 정련한 후 요입구, 통풍구, 배연구 등을 밀폐하여 2~3일간 방치 냉각시킨 다음 출탄하는 요내에서 소화하는 방법이다. 백탄요는 요벽은 돌로 만들고 천정은 진흙을 사용하여 만들고, 탄화조작은 300℃로 탄화하고 최후에 요입구를 서서히 넓혀 900~1,000℃로 숯을 충분히 정련시켜 벌겋게 달군 후 한 개씩 꺼내어 消粉(흙, 모래, 회분 등이 혼합된 것)을 덮어 급히 소화하고 냉각시키는 요외소화 방식이다(8, 9, 10).

목탄의 성질은 제탄방식 등에 따라 다양하지만, 일반적으로 탄소가 약 80~90%이며, 그 외 산소, 수소 및 회분(무기성분)을 함유하는 복잡한 탄소질 무기 고분자 물질이며, 내부의 공간이 많아 1g당 비표면적은 흑탄이350~450㎡, 그리고 백탄은 200~300㎡가 된다(11). 탄화 온도 600~700℃에서 흡착량이 최대치에 도달한다. 탄화 온도가 높은 목탄일수록 황화수소의 흡착량은 높고, 암모니아의 흡착량은 낮다. 표면적이 클수록 농약 흡착량은 많다. 또 1㎜ 이하의 미세구멍 지름으로 구성된 세공용적(細孔容積)이 클수록 흡착량은 많다. 전 세공용적은 비표면적에 비례한다. 백탄을 제조할 때는 1400℃ 이상의 고온에서 제조하기 때문에 이들 표면은 알칼리성이라서 암모니아가스를 흡착하기 어렵다. 또 목탄의 표면은 소수성(疏水性)이므로 수증기에 대한 친화력이 낮아 상대온도가 낮을 때는 그다지 흡착되지 않는다. 일반적으로 가스입자는 미세공에 물리적으로 흡착하거나, 목탄 표면의 반응기와 화학적으로 결합한다고 알려져 있다. 또한 불순물이 적고 흑색이며 부패하지 않는 특징을 갖고 있다(12, 13, 14, 15).

따라서 이러한 목탄의 물리적·화학적 성질을 효과적으로 이용한다면 실내공기 오염 물질을 제거할 수 있고 더불어 난방 에너지 절약도 가능하다고 사료된다. 즉, 목탄이 지닌 효율성을 다양한 친환경 건축자재에 접목시킨다면, 에너지 절약과 VOC 감소를 통해 건강한 주택과 국민건강 향상뿐만 아니라 국내 목탄산업 활성화에도 기여할 것으로 판단된다.

본 연구의 구체적인 목표는 다음과 같다.

(1) 목탄 및 목탄을 이용한 친환경 건축 자재의 제조

(2) 목탄 및 목탄을 이용한 친환경 건축 자재의 물성 분석

(3) 기존 및 목탄 건축자재를 사용한 철근 콘크리트 건물(3동) 신축

(4) 실험동에서 목탄 건축 자재의 에너지 절감 효과 구명

(5) 실험동의 거주성 평가를 위한 결로 현상 및 층간 소음 평가

(6) 목탄 건축자재 자체의 유해가스 흡착성 평가

(7) 실험동의 실내 유해가스 흡착 제거 능력 평가

(8) 목탄에 관한 통계 조사 및 경제성 비교

2. 재료 및 방법

가. 실험동 건물 신축

목탄 건축자재 및 목탄 혼합 건축자재의 기름절감량, 축열량 및 실내 유해가스 흡착 등의 효능을 검토하기 위하여 설계도<그림 1-5>와 같이 실험동을 신축하였다. 일반콘크리트 건물<그림 4>과 목탄 건축자재를 이용한 건물<그림 5>로 구분하였으며, 건물 신축에 사용된 목탄 건축자재 및 공정을 사진 1~11에서 나타내었다. 건물은 경기도 남양주시 와부읍 도곡1리 산84번지(고려대학교 농장)에 신축하였으며 방향은 정남향 위치였다.<겨울철 기온은 부록참조>

1) 일반 콘크리트 건물 (A동, 그림 4 참조)

가) 바닥 시공

- 난방배관 (15㎜)
- 슬라브 (150㎜)
- 단열재 (30㎜)
- 경량기포콘크리트 (40㎜)
- 시멘트 모르타르(40㎜)

나) 벽면시공

- 콘크리트 (150㎜)
- 단열재 (65㎜)
- 석고보드 (9.5㎜)
- 석고보드 (9.5㎜)
- 벽지

2) 목탄 건축자재 건물 (B동, 그림 5 참조)

가) 바닥 시공

- 난방배관 (15㎜)
- 슬라브 (150㎜)
- 단열재 (30㎜)
- 참숯 자갈(숯 볼) (40㎜)
- 참숯 모르타르(40㎜)

나) 벽면시공

- 콘크리트 (150㎜)
- 단열재 (65㎜)
- 석고보드 (9.5㎜)
- 석고보드 (9.5㎜)
- 참숯 액상 모르타르

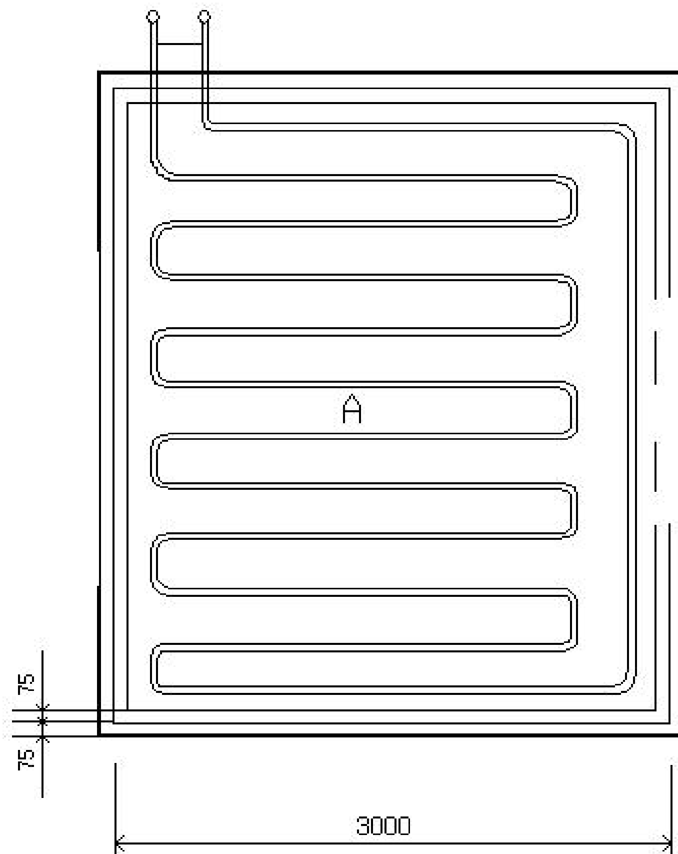
3) 목탄 건축자재 건물 (C동, 그림 5 참조)

가) 바닥 시공

- 난방배관 (15㎜)
- 슬라브 (150㎜)
- 단열재 (30㎜)
- 참숯 자갈(숯 볼) (40㎜)
- 참숯 바이오 모르타르(40㎜)

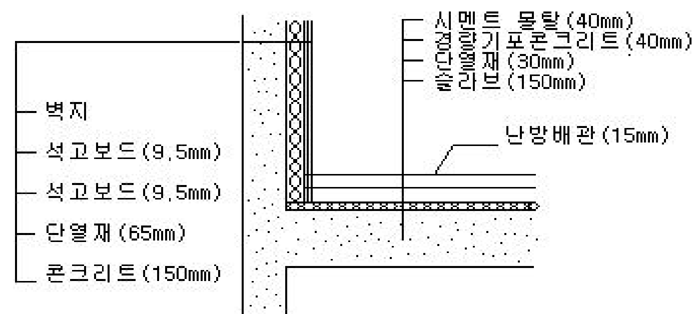
나) 벽면시공

- 콘크리트 (150㎜)
- 단열재 (65㎜)
- 석고보드 (9.5㎜)
- 석고보드 (9.5㎜)
- 참숯 액상 모르타르
- 벽지

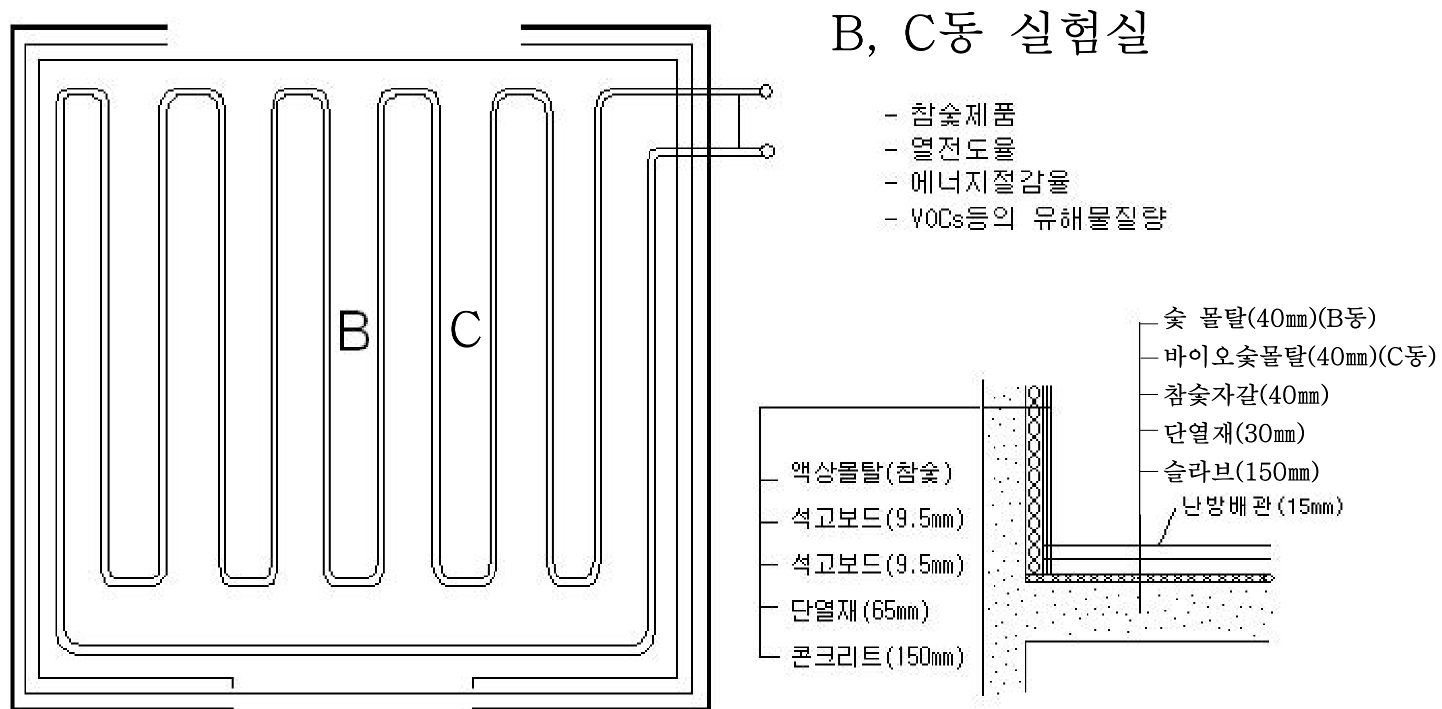


A동 실험실

- 일반 아파트 기준
- 열전도율
- 에너지절감율
- VOCs등의 유해물질량



<그림 4> 일반 콘크리트 건물 단면도



<그림 5> 목탄 건축자재 이용 건물 단면도


<사진 1> 대조구 실험동 기초공사


<사진 2> 실험동 기초공사 전경


<사진 3> 실험동 미장작업



<사진 4> 공시 숯 볼 (세라콜 볼)



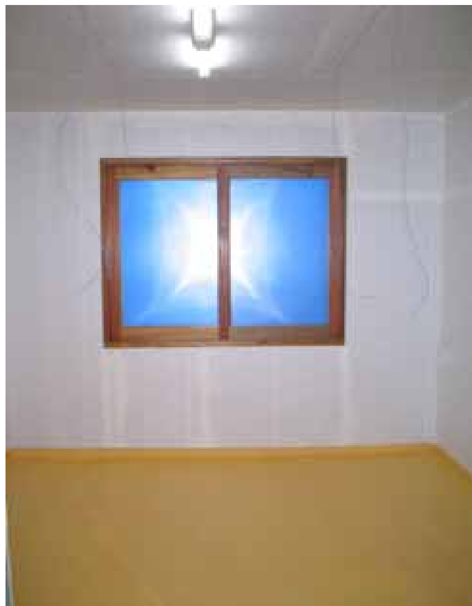
<사진 5> 공시 액상 숯 몰탈 (해피 홈)



<사진 6> 콘크리트 천정 숯 칠



<사진 7> 석고보드 벽 숯 칠



<사진 8> 실험동 완공 후 실내



<사진 9> 실험동 전면



<사진 10> 실험동 측후면



<사진 11> 실험동 외벽 (천막 설치)

본 실험동에 사용된 목탄 건축자재에 함유된 숯의 함량은 다음과 같다. 숯 모르타르: 숯 함량 10%, 목탄 액상 모르타르: 숯 함량 25%, 바이오 숯 모르타르: 숯 함량 5%, 참숯자갈: 숯 함량 30%이다.

나. 건물 부대시설 및 장비

1) 보일러 설치<사진 12>

목탄 건축자재를 이용한 건물의 기름절감량, 축열량 등에 대한 실험을 수행하기 위하여 2004년 모델의 가정용 기름보일러를 각 실험동에 1기씩 설치하였으며, 자세한 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> 보일러 사양

모델명 (제조회사)	KDB-90SD (경동보일러)
품명	기름연소온수보일러
사용연료	경유, 등유
용도	난방 및 급탕
연소방식	압력분무식
가열방식	2회로식
급수방식	시스턴식
난방최고사용압력	98kPa(1kgf/㎠)
연료소비량	2.01ℓ/h
난방출력	62,802KJ/h(15,000㎉/h)
연속급탕출력	62,802KJ/h(15,000㎉/h)
간헐급탕출력	-
사용전원	220V, 60Hz
급배기방식	밀폐식 강제급배기형(A) 반밀폐식 강제배기형(B)
전열면적	0.59㎡
저탕량	20.5ℓ
효율	난방 87.5/86.5% 연속급탕 87.5/86.5%
소비전력	점화 시 158W 연소 시 142W

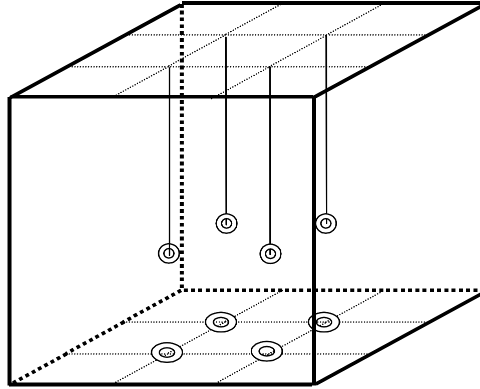
2) 소형 정밀 터빈 유량계 설치<사진 13>

보일러 가동에 따른 정확한 기름 사용량을 측정하기 위하여 각 기름 탱크로부터 보일러로 유입되는 배관 사이에 소형 정밀 터빈 유량계 각 1기를 설치하였으며, 사양은 다음과 같다.

- Flow Rate : 13~100cc/min.
- Connection : 1/8" tube
- Material : brass
- Fluid : 실내등유 또는 경유
- Digital Counter
- Display : Total, Reset Total, Flow Rate

3) 기름 절감량 및 축열량 측정을 위한 자동 온도기록장치 설치 및 온도 센서 케이블 연결

기름 소비량은 보일러 기름 탱크에 기름을 넣고, 유량계 컨트롤 박스 <사진 14>를 0으로 맞춘 후, 보일러를 가동시키고 오전 8시와 오후 8시에 각각 유량계 컨트롤 박스에 나타난 수치를 계산하여 산정하였다. 기름절감량 및 축열량 측정을 위한 각 실험동 내부의 실내온도 측정을 위해 온도 측정 디지털 다용도 기록계(YOKUGAWA UR180/M41)를 설치하였으며<사진 15>, 실험동별로 온도센서 케이블(K Type)을 연결하여 천정에서 고정한 후, 바닥으로부터 약 1m 지점에 각 4개 및 보일러 배관이 통과하는 4지점 등 8개를 설치하였다<그림 6>.



<그림 6> 기름 절감량 및 축열량을 위한 온도 측정 지점



<사진 12> 보일러실 내부



<사진 13> 보일러 유량계

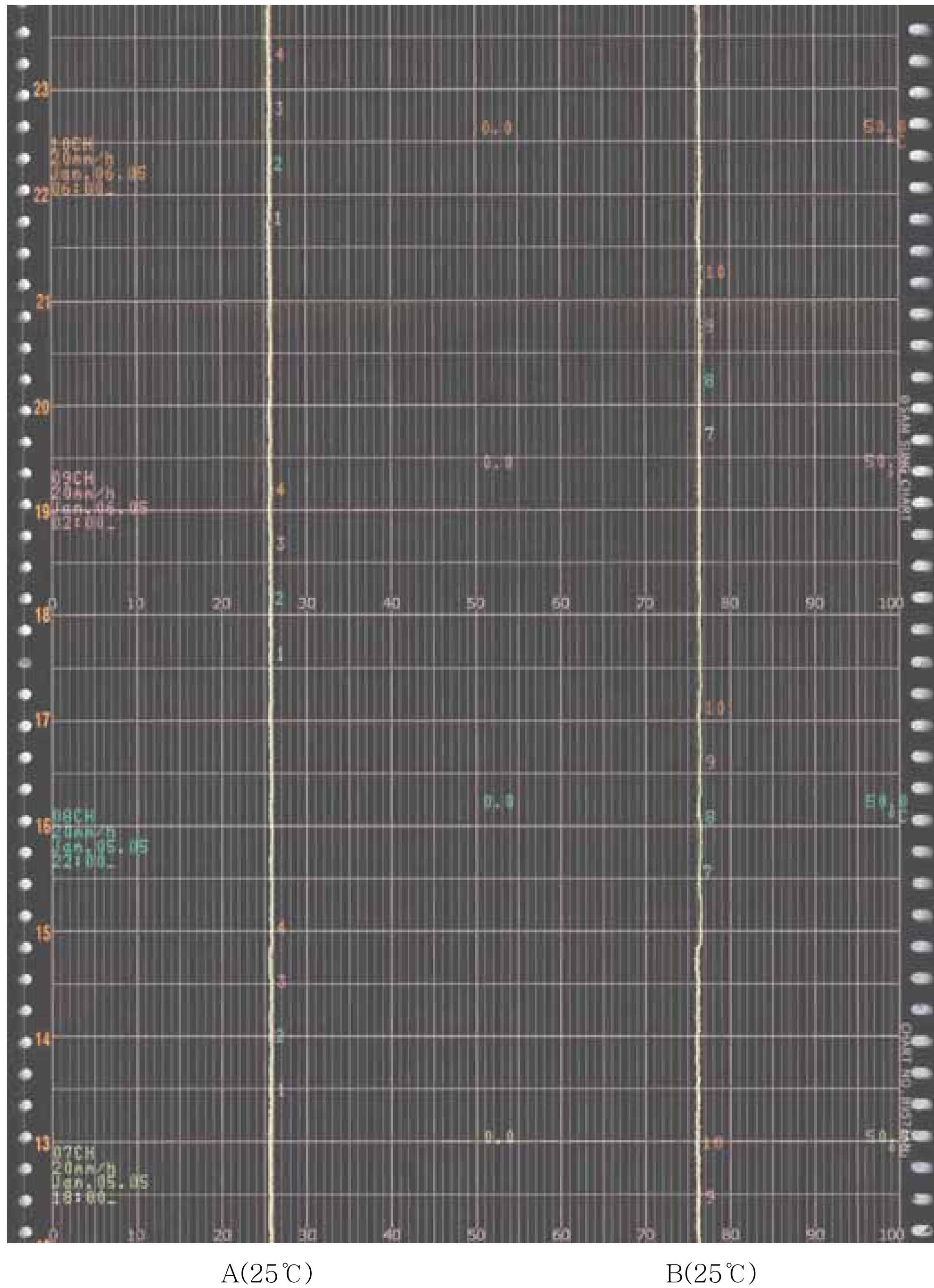


<사진 14> 유량계 컨트롤 박스



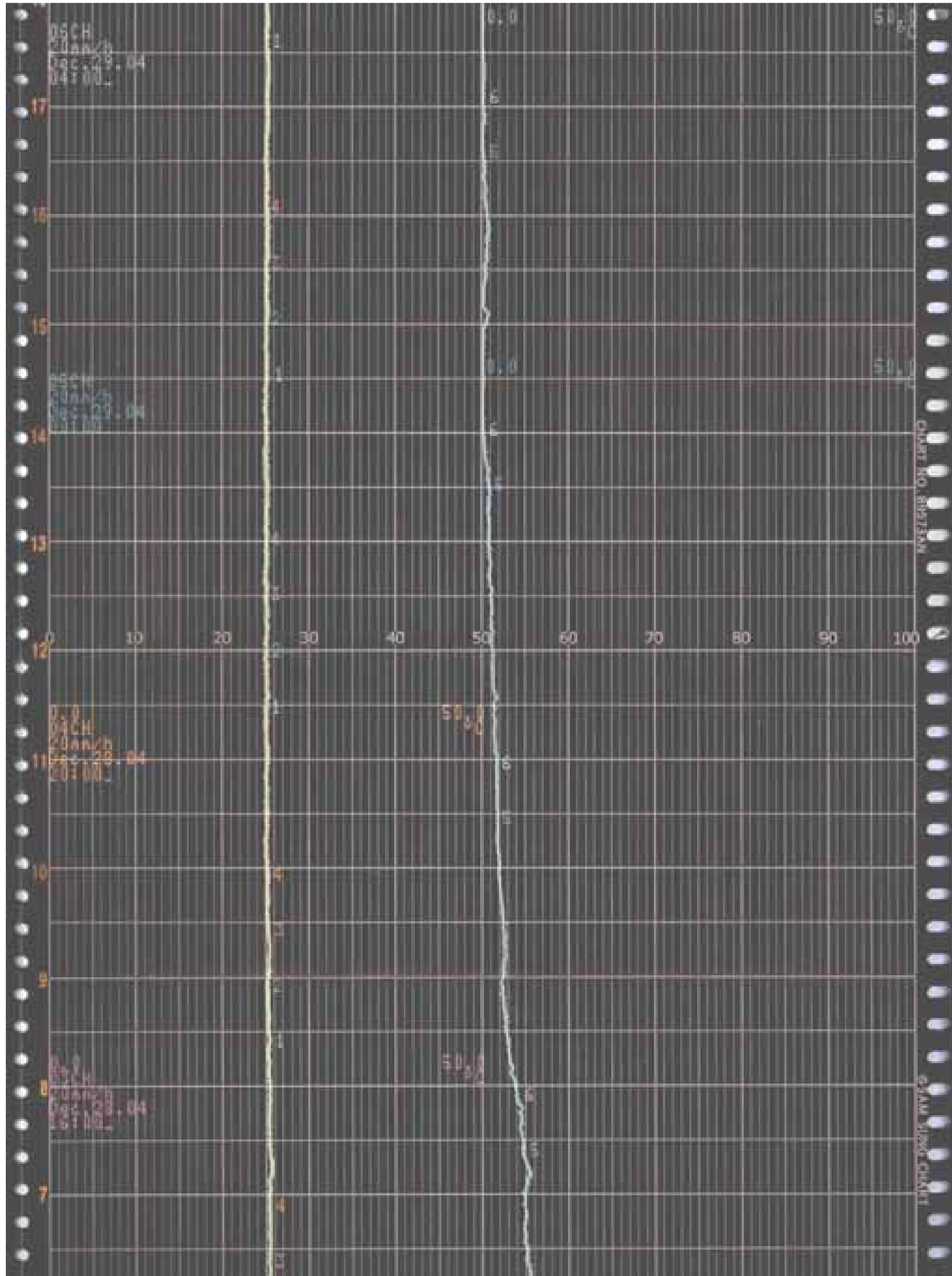
<사진 15> 자동 온도기록 장치

<그림 7> 기름절감량 측정을 위한 실내 온도변화 <일반건축 자재(A), 참숯 모르타르(B)>



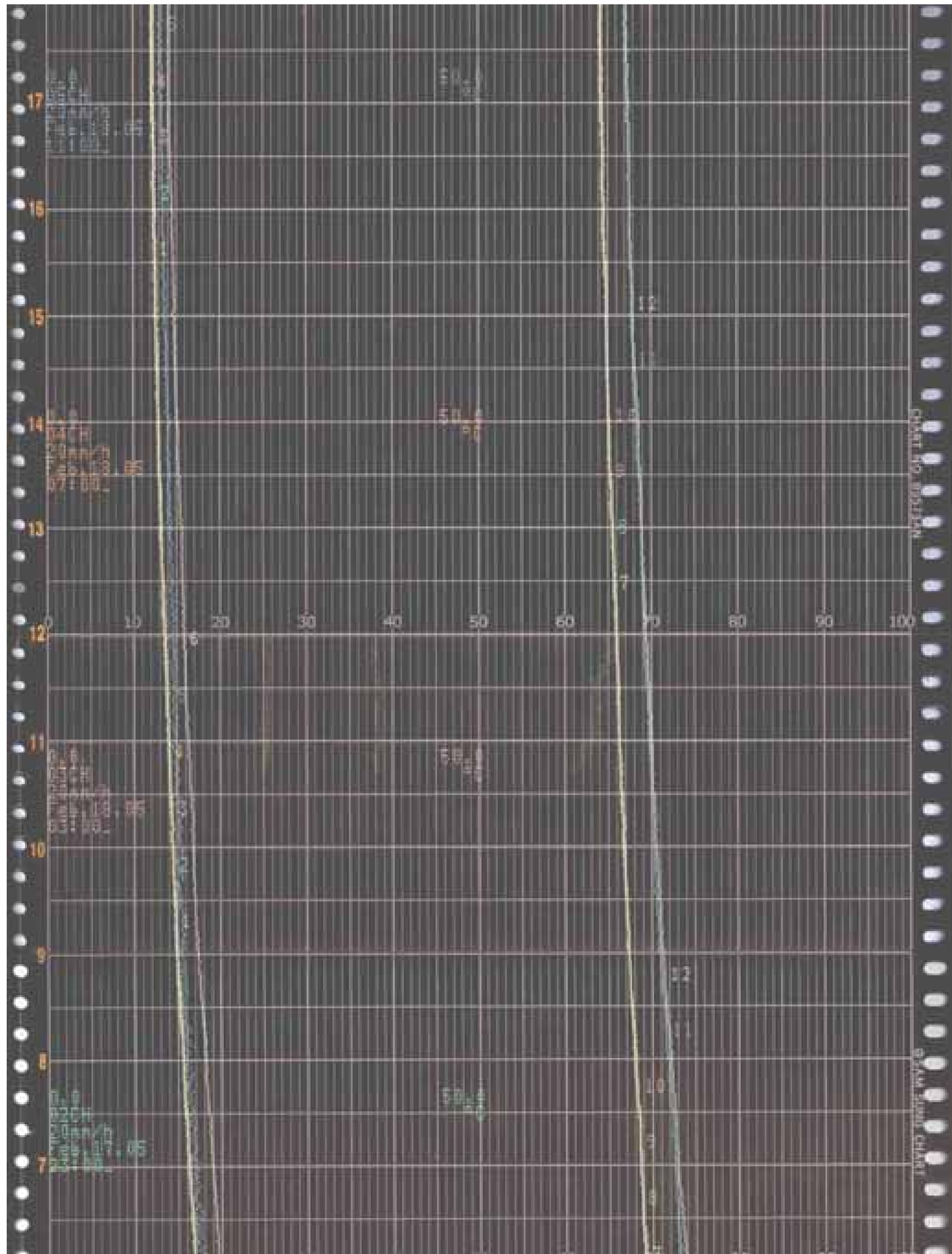
A(25℃) B(25℃)

<그림 8> 기름절감량 측정을 위한 실내 온도변화 <바이오 숯 모르타르 (C), 실외 온도>



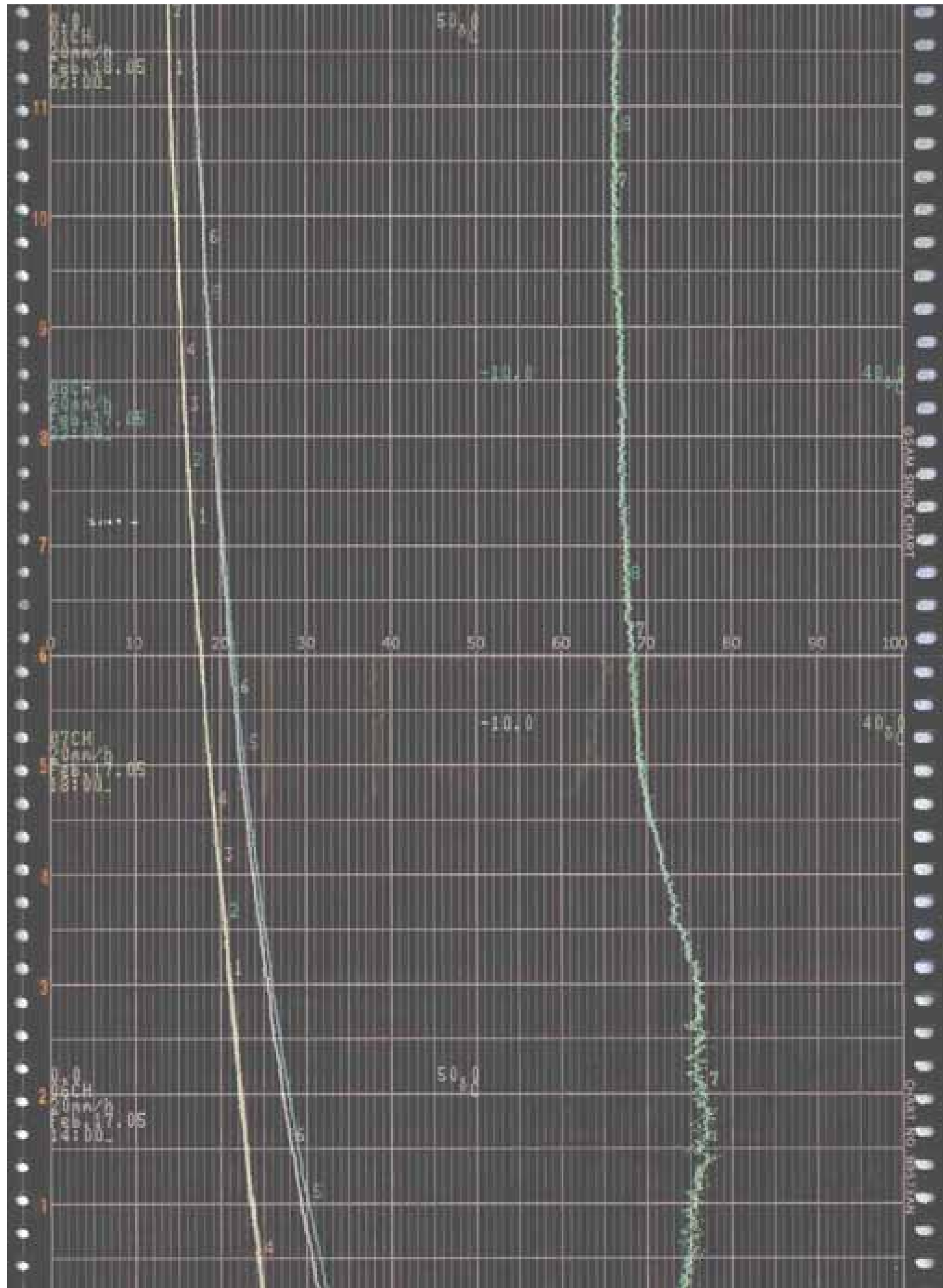
C(25℃) 실외

<그림 9> 축열량 측정을 위한 실내 온도변화 <일반 건축자재A),
참숯 모르타르(B)>



1m높이, 방바닥　　　　　1m높이, 방바닥

<그림 10> 축열량 측정을 위한 실내 온도변화 <바이오 숯 모르타르(C),
실외 온도>



1m 높이, 방바닥　　　　　　　　　　실외

다. 목탄 건축자재의 제조방법

1) 목탄 액상 모르타르 제조방법

- 제 1공정 : 천연 바인더 제조 시 통상적인 방법인 식물에서 추출한 지방산 알코올과 올리브, 오렌지, 야자계 등과 같은 식물에서 추출한 식물계지방산 알코올을 혼합하고 여기에 에탄올을 첨가하여 C8~C16의 지방산 알코올을 생산한다.

- 제 2공정 : 제1공정에서 생산된 식물성 중합체(지방산 알코올)에 다당류인 전분(비중 약 1.65)을 반응시키고 포도당과 송지을 혼합하여 60~80℃로 20~180분 가열하면서 저속으로 교반하여 합성한 후, 중합단위체에 에스테르화 반응을 유도한다.(식물성중합체/전분/포도당/송지=55:30:10:5)

- 제 3공정 : 전통식 숯가마에서 생산하여 1000mesh 정도로 분쇄한 참나무 백탄과, 600mesh 이상으로 분쇄한 운모(sericite)를 50:50으로 혼합한다. 목탄과 운모는 각각 20%의 중량비로 첨가하였다.

- 제 4공정 : 제 2공정의 무공해 바인더와 제3공정에서 생산된 것을 고속교반기에서 고르게 혼합하면서 일반적으로 사용되는 분산제, 소포제 및 산화티탄 등을 첨가하여 목탄 액상모르타르를 제조하였으며 혼합비는 <표 2>와 같다.

<표 2> 목탄 액상 모르타르 원료 및 배합비

품 명	규 격	중량 비 (%)
천연 Binder	식물성 중합체	55
목탄 + sericite	600mesh 이상	40
분산제	Organic Polymer	2
소포제	변성 톨리실록산 에멀젼	1
산화티탄	-	2
합계	-	100

2) 숯 자갈(숯 볼) 제조방법

- 제 1공정 : 탄소함량 90% 이상, 회분 3% 이상의 전통식 숯가마에서 생산된 참나무 백탄을 분쇄한 100mesh 이상의 백탄 분말 35% 중량과 120mesh 이상의 맥반석 분말 30% 중량, 200mesh 이상의 점토분말 20% 중량, 200mesh 이상의 마그네타이트 분말 10% 중량비율을 각각 분쇄한 후에 상기 준비된 원료를 비중 1.5g/㎤ 규산나트륨(NaSi) 5~10% 중량 비율로 첨가하여 교반기에서 15분 이상 혼합한다.

- 제 2공정 : 상기 혼합물을 소정의 금형에 넣어 150㎏/㎠ 내외의 압축성형기에 넣어 압축한다.

- 제 3공정 : 압축 성형물을 50~80℃의 전기건조대에서 5시간 이상 건조한다.

- 제 4공정 : 상기 건조상태의 고형물을 150℃로 저온 소성하여 제조한다.

3) 참숯 모르타르 제조방법

시멘트 모르타르 조성물은 숯을 미분말로 파쇄 건조하는 공정, 및 시멘트에 건조된 모래를 혼합하는 공정 및 상기 혼합된 모르타르에 건조된 숯을 혼합하는 공정을 통하여 제조된다.

시멘트에 700~1300℃에서 소성 건조된 입경 170mesh 정도의 모래 와 700~1300℃에서 소성 건조된 입경 100~450mesh 정도의 숯을 25:65:10의 중량 비율로 벌크 통에서 혼합하여 스크류 믹서기를 통해 완전히 혼합한 후 포장한다. 이 경우 모래의 선별을 용도에 따라 굵은 모래(왕사) 1~3㎜, 가는 모래(중사) 0.5~1㎜, 0.5㎜(세사)로 선별하여 1:1:1로 혼합하며, 숯은 햄머크레샤를 이용하여 3차에 걸쳐 파쇄하고 진동분쇄기로 분쇄한 후, 소성, 건조 및 냉각공정을 거쳐 저장한다. 한편 건조 숯 모르타르의 가격비교를 표 5에 나타내었다.

4) 바이오 숯 모르타르 제조방법

시멘트 모르타르 조성물은 숯을 미분말로 파쇄 건조하는 공정, sericite 및 시멘트에 건조된 모래를 혼합하는 공정 및 상기 혼합된 모르타르에 건조된 숯을 혼합하는 공정을 통하여 제조된다. 다음 공정은 3)과 동일하다.

라. 목탄 건축자재의 물성 분석

1) 액상 모르타르 물성 분석

숯이 혼합된 액상 모르타르의 숯 첨가량에 따른 물성을 조사하기 위하여 합성수지 에멀젼 페인트(내부용) 2종 1급(KS M 6010)의 대한주택공사 주택도시연구원 품질시험소에서 <표 3>과 같이 분석을 실시하였다. 숯 첨가량은 미첨가구를 대조구로 사용하였으며, 숯 함량을 15, 20, 25, 30%로 조절하였다.

<표 3> 목탄 액상 모르타르 분석항목 및 시험방법

시험품목	시험항목	시험방법
합성수지 에멀젼 페인트 (내부용) 2종 1급	주도	KS M5000-2122
	불휘발분	KS M ISO 3251
	건조시간	KS M5000-2511
	광택(85°)	KS M ISO 2813
	은폐율	KS M ISO 2814
	내세척성	KS M 5000-3351
	냉동안정성	주택공사 시방서
	용기 내에서의 상태	KS M 5000-2011
	내 알칼리성	주택공사 시방서
	저장안정성	KS M 5000-2021

2) 참숯 모르타르 물성 분석

건조 모르타르의 숯 첨가량에 따른 물성을 조사하기 위하여 재단법인 한국건자재시험연구원에서 <표 4>과 같이 분석을 실시하였다. 숯 첨가량은 미첨가구를 대조구로 사용하였으며, 숯 함량을 5, 10, 15, 20%로 조절하였다. 한편 건조 모르타르의 항균시험(대장균) 및 암모니아 가스 탈취시험은 실험동의 자재로 사용된 숯 함량 10%를 일반시멘트와 비교하여 조사하였다.

<표 4> 참숯 모르타르 분석항목 및 시험방법

시험품목	시험항목	시험방법
참숯 모르타르	압축강도(7일, 28일)	KSL 5220-‘03
	보수성	
	공기량	
	탈취율	KICM-FIR-1085

마. 층간 소음 측정

층간 소음은 시험편(길이 4,200mm × 폭 3,000mm × 두께 260mm (면적 12.6㎡)를 Total 산업(여주소재)에서 제조<사진 16, 17>하여 경량충격음과 비공인 중량충격음을 방재시험 연구원에서 측정하였다. 시험체의 구성 및 재질은 참숯 모르타르 40 + 참숯자갈 40 + 단열재스티로폼 30 + 철근 콘크리트 슬래브 150mm(25-8-240)였다.

1) 시험방법

가) 개요

바닥충격음 시험은 경량충격음에 대하여 KS F 2865 : 2002(표준 콘크리트 바닥위 마감구조의 경량 충격음 레벨 저감량 실험실 측정 방법)를 적용하여 측정하고 중량충격음에 대하여 KS F 2810-2 : 2001(바닥 충격음 차단 성능 현장 측정 방법-제 2부 표준 중량 충격원에 의한 방법)을 준용하여 음원실과 수음실 사이의 층간바닥구조를 시험체로 하여 상층에서 충격음(경량 및 중량 충격음)을 발생시켜 하층에서 바닥 충격음 레벨을 측정하였으며, 측정된 바닥 충격음 레벨은 수음실의 기준 등가 흡음력(10㎡)에 대한 보정값을 더한 규준화 바닥 충격음 레벨(L'_n)로 환산하였음.

나) 충격음원 설치 및 수음실 바닥충격음레벨의 측정

시험중 충격음발생기(경량 및 중량충격음원)는 바닥시험체의 중앙과 이로부터 모서리와의 중간 4개 지점 등 5개 지점에 설치하였으며 수음실의 평균음압레벨의 측정을 위한 마이크로폰 위치는 잔향실 마이크로폰 상호간에 1m 이상 이격되고, 시험체면 및 벽면으로부터는 0.5m이상 이격되는 5개 지점에서 총 25회 측정하였음.

다) 바닥충격음레벨 산출

바닥충격음 차단성능을 나타내는 수음실의 실내 평균 음압 레벨(L)은 다음 식 (1)로 구하였음.

$$L = 10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}10^{\frac{Lj}{10}}\right) \quad \text{-----------------------------} \quad (1)$$

여기에서 Lj : 수음실내 측정점 j에서의 음압 레벨(dB)

n : 측정점의 수

또한 상기 실내 평균 음압 레벨(L)은 수음실의 흡음력에 따라 변동될 수 있으므로 기준 등가 흡음력(10㎡)에 대한 값을 보정하여 다음 식

라) 배경소음의 영향보정

외부의 소음이나 수음실내의 전기적 잡음 등 배경소음의 영향을 배제한 음압레벨은 다음식 (3)으로 구하였음.(음압레벨차가 6dB 미만일 경우 보정 않음)

$$L = 10\log_{10}\left(10^{\frac{Lsb}{10}} - 10^{\frac{Lb}{10}}\right) \quad \text{---------------------} \quad (3)$$

여기에서 L : 보정된 바닥충격음레벨(dB)

L_{sb} : 배경소음이 포함된 바닥충격음 레벨(dB)

L_b : 배경소음 레벨(dB)

마) 측정주파수 : 50 ㎐ ~ 630 ㎐ 주파수대역의 1/3 옥타브 밴드(중량충격음) 100 ㎐ ~ 3150 ㎐ 주파수대역의 1/3 옥타브 밴드(경량충 격음)

바) 시험체 설치 <그림 11, 사진 18>

사). 측정 장치

(1) 잔향실<사진 19>

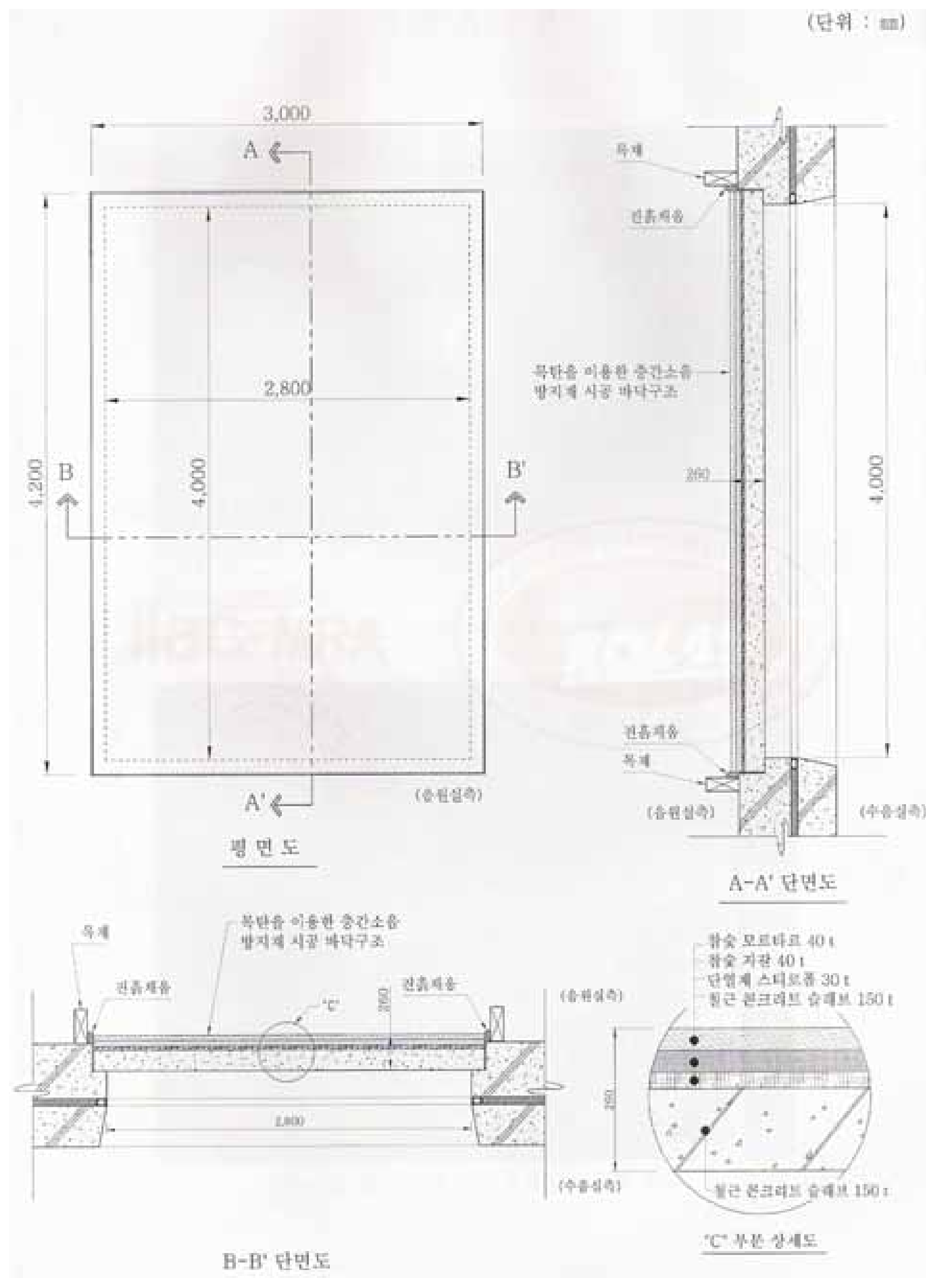
- 구조 : 철근콘크리트조, 두께 300mm
- 형태 : 7면체 부정형
- 음원실 용적 : 269.0㎡
- 수음실 용적 : 217.2㎡

(2) 사용 기기

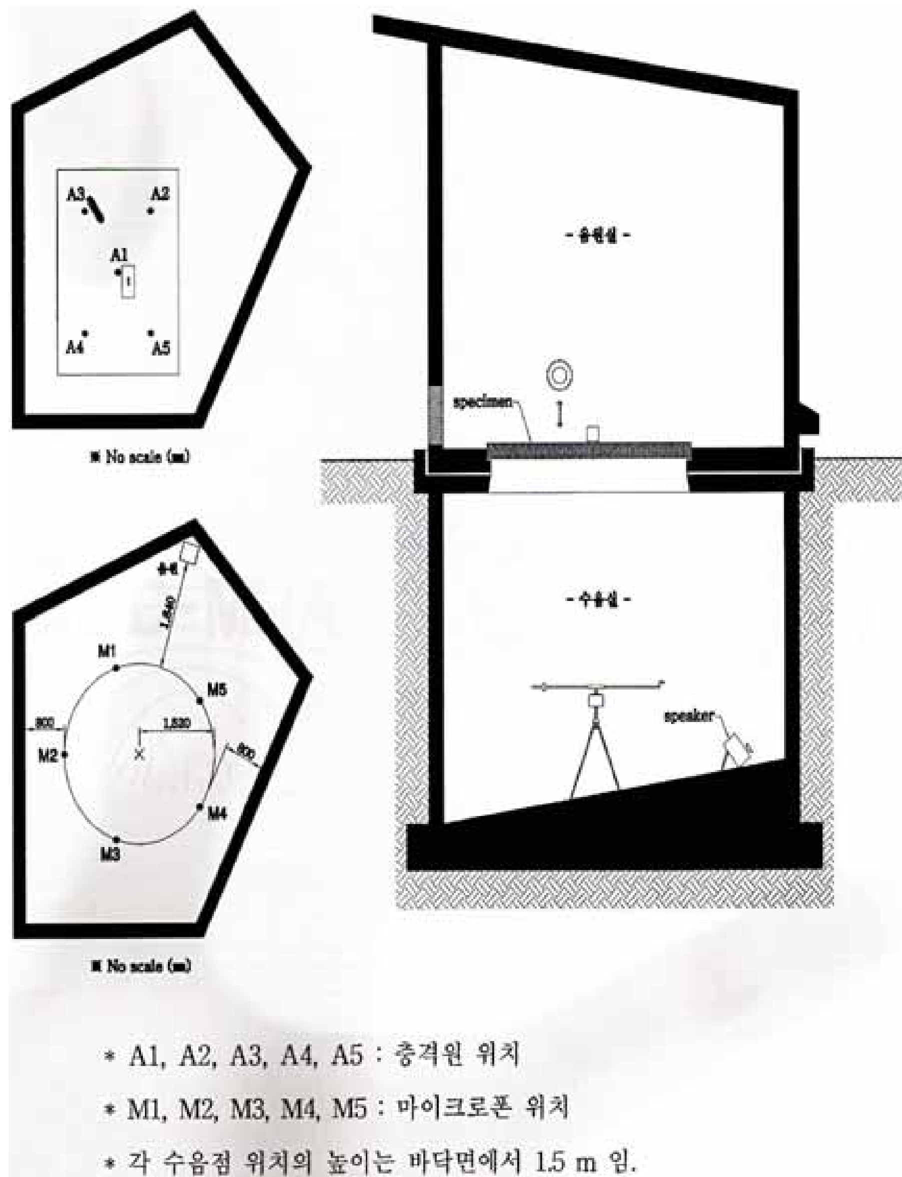
- 음원 : 경량충격음(태핑머신, B&K 3204)
  중량충격음(뱅머신, 5,00-8. 4PR, INOUE)
- 마이크로폰 : 무지향 특성을 가진 것(B&K 4192 및 4193)
- 음압레벨측정기 : 실시간 주파수 분석기(B&K 2144)

(3) 측정위치

- 측정위치 : 잔향실 측정배치도<그림 12>


(단위 : ㎜)
3,000
A
2,800
4,200
4,000
B
B'
A'
(음원실측)
평 면 도
목재
목탄을 이용한 층간소음
방지재 시공 바닥구조
260
4,000
(음원실측)
(수음실측)
A-A' 단면도
"C"
2,800
B-B' 단면도
단열재 스티로폼 30 t
철근 콘크리트 슬래브 150 t
"C" 부분 상세도

<그림 11> 시험체도면



<그림 12> 잔향실 측정 배치도



<사진 16> 참숯자갈층



<사진 17> 바이오 숯 모르타르층



<사진 18> 시험체 설치



<사진 19> 수음실

바. 결로 현상 측정

결로는 실내의 공기(방바닥 1m높이)와 실외(건물 외부) 공기(1.5m높이)의 온도, 습도 및 결로점을 Thermohygrometer (HumidityLogR, Digi-sense, 독일)로 측정하여 실내 창문에 나타나는 수분의 응결로 비교하였다<사진 20, 21 참조>. 또한 실내에 가습기를 가동하여 습도를 높여주면서 수분의 응결을 비교하였다.



<사진 20> 실외 공기에서 측정



<사진 21> 실내 공기에서 측정

사. VOCs 및 HCHO 측정

1) VOCs 측정

가) 건물실내의 VOCs 측정

VOCs 측정은 실내공기질관리법 제4조(실내공기질 공정시험 방법)에 준하여 산업기술연구소에 의탁하여 분석하였다. 측정항목은 benzene, toluene, ethylbenzene, 1,4-dichlorobenzene, xylene및 stylene 6종이었고 동시에 TVOC도 측정하였다. 건물 A, B 및 C동에 VOC가 균일하게 함유된 석고보드, 벽지접착제 및 가구대용으로 도장된 목재 사전에 잔존시켰다. 또한 가스 흡착량의 차이를 좀 더 명확하게 구명하기 위하여, 실험동의 방바닥에 설치된 비닐 장판을 제거한 상태에서 측정하였다.

공정시험방법에 따라 A, B 및 C 동의 창문을 모두 개방하여 30분간 환기시킨 후에 다시 닫고 5시간 이상 밀폐상태를 유지한 후 정해진 유량으로 30분간 2회 시료를 채취하였다(사진 22, 23, 24, 25 참조). 채취조건은 실내온도 20℃ 그리고 오후 4시에 채최하엿다. VOC 채취량은 유속이 100㎖/min 로서 포집유량은 3ℓ 였다.

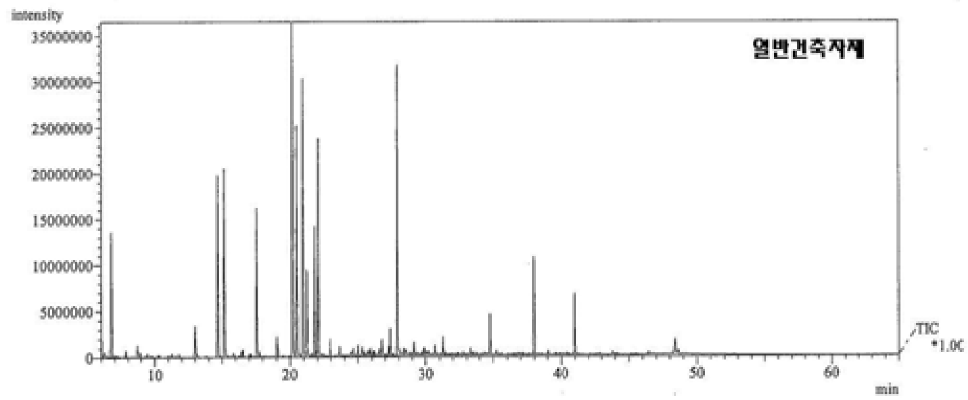
Tenax TA 흡착제가 충진제 흡착관을 이용하여 공기 중 VOCs을 채취한 다음 열탈착장치를 이용해 농축/탈착시켰다. 탈착된 VOCs는 컬럼을 통해 분리하여 불꽃이온화검출기(FID) 또는 질량분석기(MS)가 장착된 가스크로마토그래피로 분석했다. 분석조건은 <표 5>와 같다. 또한 GC/MS의 retention time은 <표 6>과 같다. 건축자재 종류에 따른 GC/MS에 의한 VOC 크로마토그램은 <그림 13>과 같다.

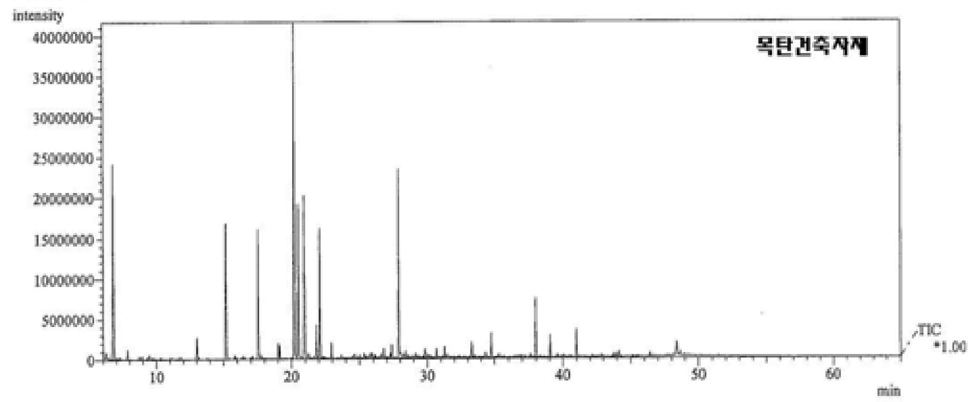
<표 5> 휘발성유기화합물 분석조건

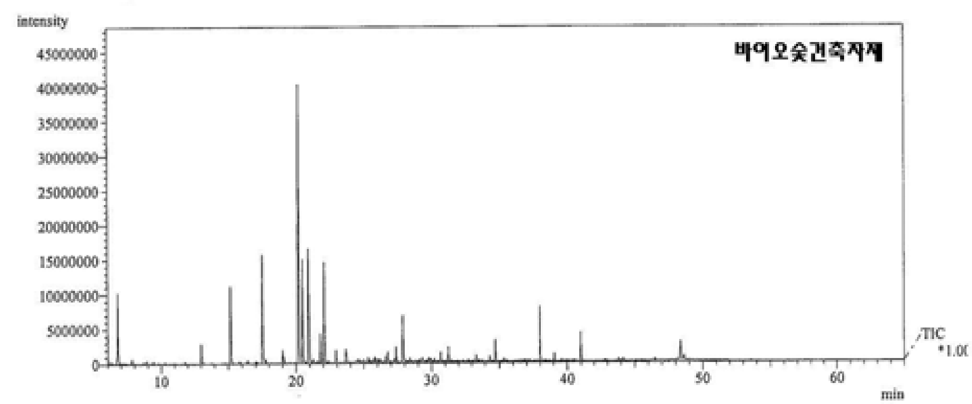
Thermal Desorber		Turbo Matrix ATD (Perkin-Elmer)			
ATD	Temperature (℃)	Tube	Trap	Valve	Transfer Line
		295	-30~300, 40℃/s	200	200
	Timing (min)	Sample	Trap Hold	Desorb	Purge
		7	15	8	2
	Split Ratio	9:1			
GS/MS			GCMS-QP2010(SHIMADZU)		
Column			VB-1(60mL.×0.32mmI.D.×1.0umf.t.)		
Carrier Gas and Flow			He, 1.2mL/min		
Temperature Program	Initial Temperature		35℃(5min)		
	Temperature Program		6℃/min		
	Final Temperature		250℃(30min)		
MS Condition	Mode		EI(Electron Ionization)		
	Electron Energy		70eV		
	Detection Mode		TIC(Scan), m/z: 35~350		

<표 6> 규정 BTEXS 및 기타 VOC물질 종류

종 류	GC/MS Retention Time
Toluene	15.175min
m,p-Xylene	20.925min
o-Xylene	22.083min
Styrene	21.808min
Methoxy-2-propyl acetate	20.092min
Ethylhexanol	27.775min
n-Butyl acetate	17.425min
Methyl Isobutyl Ketone	13.025min
Dodecane	37.95min
Pentadecane	40.992min







<그림 13> GC/MS에 의한 각종 VOC 크로마토그램



<사진 22> 30분 환기



<사진 23> 30분 환기 후 5시간 밀폐



<사진 24> 실내공기 채집펌프



<사진 25> 밀폐 후 공기 채집

나) 목탄건축자재의 VOCs 측정(실험실)

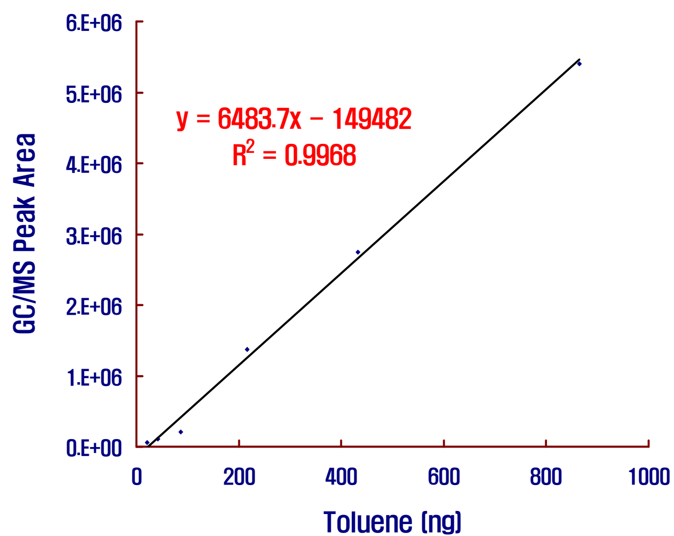
법정 기준인 6종의 VOCs가 측정 대상으로 하였으며 목탄건축자재들의 흡착방법은 <사진 26, 27>에서와 같이 유리챔버 속에 건재 시료와 VOC물질 표준량을 넣고 일정시간 흡착시켰다. 본 연구실에서 구한 각 VOCs의 검량선은 <그림 14, 15, 16, 17>과 같다.



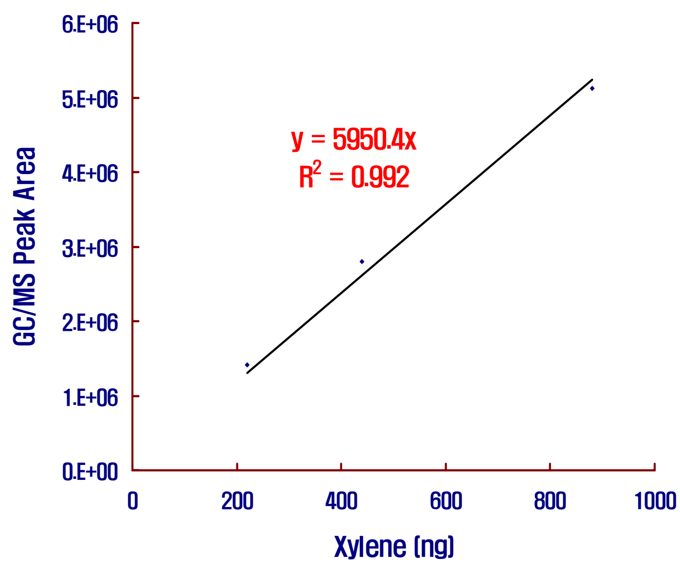
<사진 26> VOC 물질 흡착실험



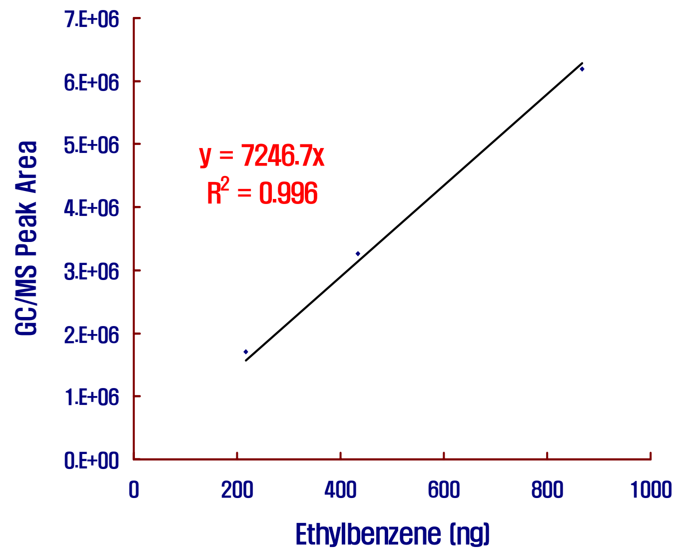
<사진 27> 흡착후 잔류 VOC 물질 채집



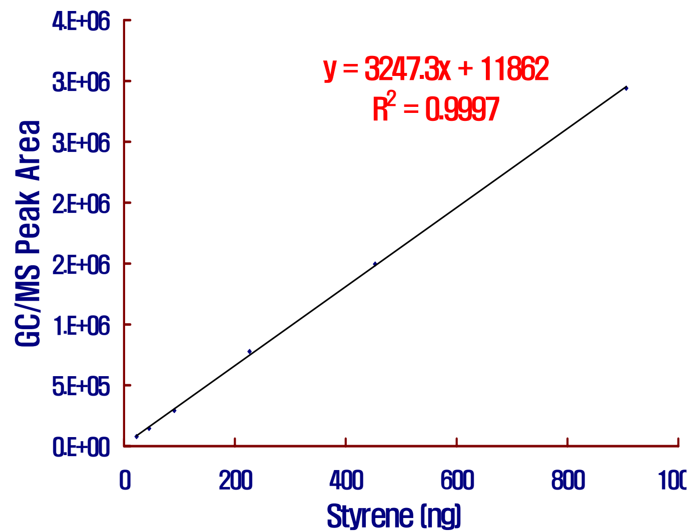
<그림 14> 공기 중 톨루엔 함량 측정용 검량선



<그림 15> 공기 중 자일렌 함량 측정용 검량선



<그림 16> 공기 중 에틸벤젠 함량 측정용 검량선



<그림 17> 공기 중 스티렌 함량 측정용 검량선

2) HCHO 측정

가) 건물 실내의 HCHO 측정

VOCs측정에서와 동일한 채취조건에서 채취하였다. 채취량은 유속 500㎖/min 으로서 포집유량은 15ℓ였다. 흡입펌프를 이용하여 ozone scrabber를 거쳐 DNPH(2,4-dinitrophenylhydrazine)카트리지에 시료를 채취하였다.

공기 중 formaldehyde를 채취한 다음 acetonitrile로 추출, 탈리시키고, 탈리시킨 용액을 고성능액체크로마토그래프(HPLC)에 주입하여 C18 역상 컬럼을 통해 formaldehyde를 분리하였다. 분리된 formaldehyde는 자외선검출기(파장 360nm)로 검출하여 분석하였다.

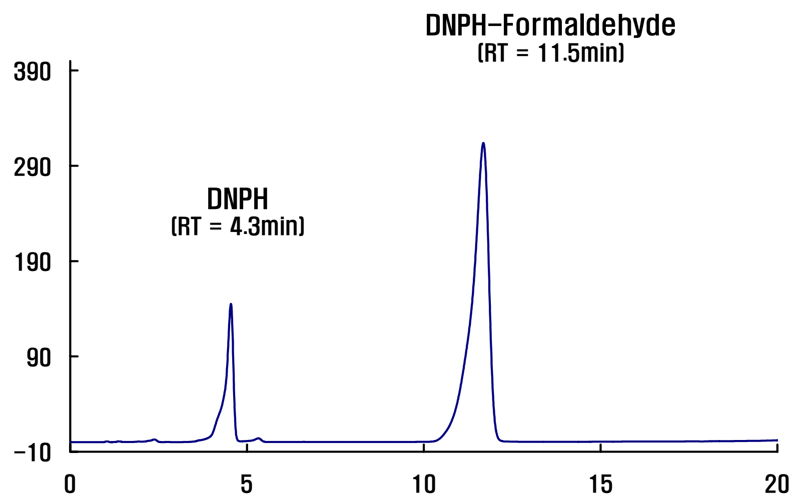
분석조건은 <표 7>과 같다.

<표 7> HCHO 분석조건

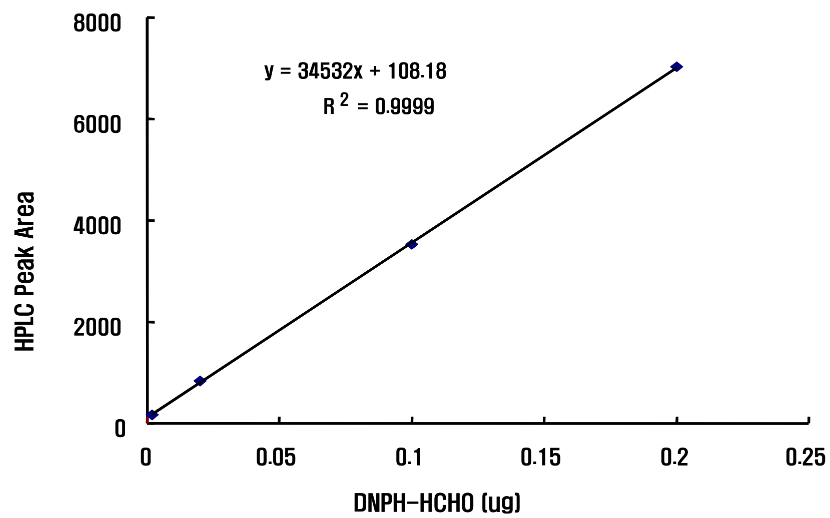
HPLC	LC-10Avp(SHIMADZU)
Detector	UV/VIS at 360nm
Column	Ace5 C_{18} 150mmL.×4.6mmI.D.×5um p.s.
Mobile Phase	Acetonitrile/water (50/50 v/v)
Analysis Time	30min
Injection Volume	20uL
Column Temperature	25℃
Flow Rate	1.0mL/min

(나) 목탄 건축자재 자체의 HCHO 흡착량 측정

목탄 건축자재를 소형챔버(데시케터와 비슷하게 제조)에 넣고 일정량의 HCHO를 방사한 후 일정시간 후에 출구로 잔여성분을 탈취하여 (가)에서 설명한 방법으로 분석한다. 잔여 HCHO 탈취방법은 VOC에서와 동일한 방법을 취하였다. DNPH-Formaldehyde의 HPLC 크로마토그램과 검량선은 <그림 18, 19>와 같다.



<그림 18> DNPH-Formaldehyde 의 HPLC 크로마토그램



<그림 19> DNPH-HCHO 검량선

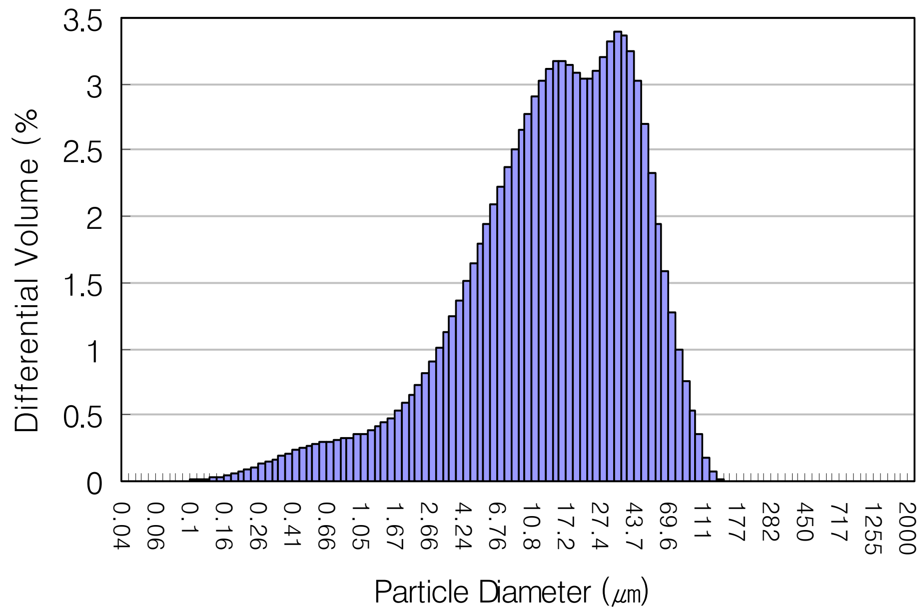
3. 결과 및 고찰

가. 목탄 및 목탄 건축 자재의 기본물성 조사

1) 공시 목탄의 물성

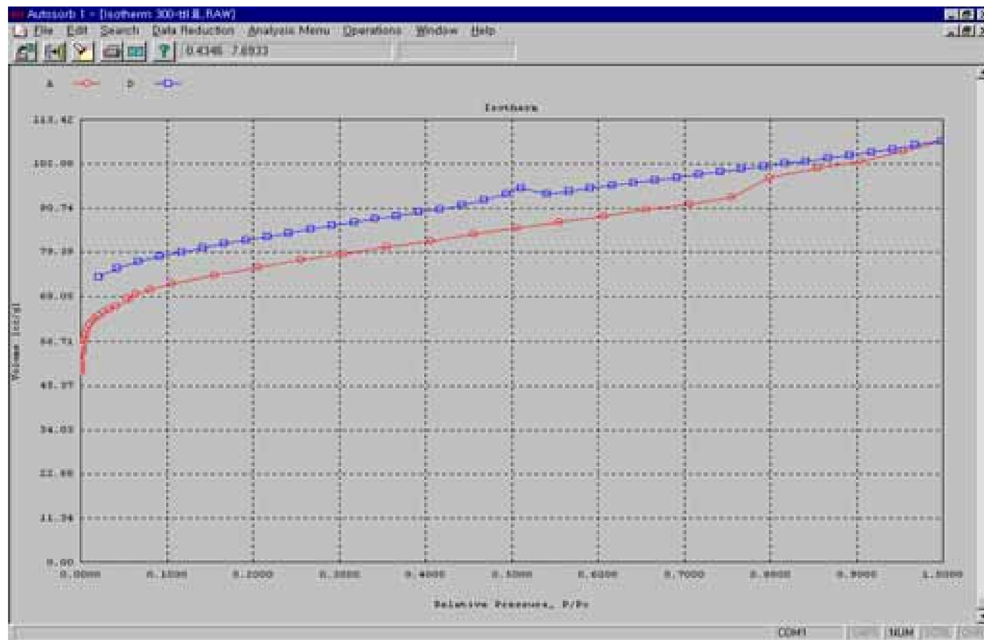
공시 목탄은 참나무를 원료로 전통식 숯가마에서 제조하였으며, 탄화온도는 약 1,000℃ 이며, 1050℃ 이상에서 정련하는 백탄방식을 선택하였다. 측정 계측기의 최고온도가 1050℃였다. 그러나 실제로는 훨씬 높은 온도로서 문헌상 1200℃이상은 될 것으로 예측된다. 본 실험에 사용된 목탄 액상 모르타르과 참숯 모르타르은 각 각 약 1,000mesh 및 500mesh 정도 입자크기의 목탄을 사용하였으며, 평균 함수율은 7.1%, 비중은 1.7을 나타내었다.

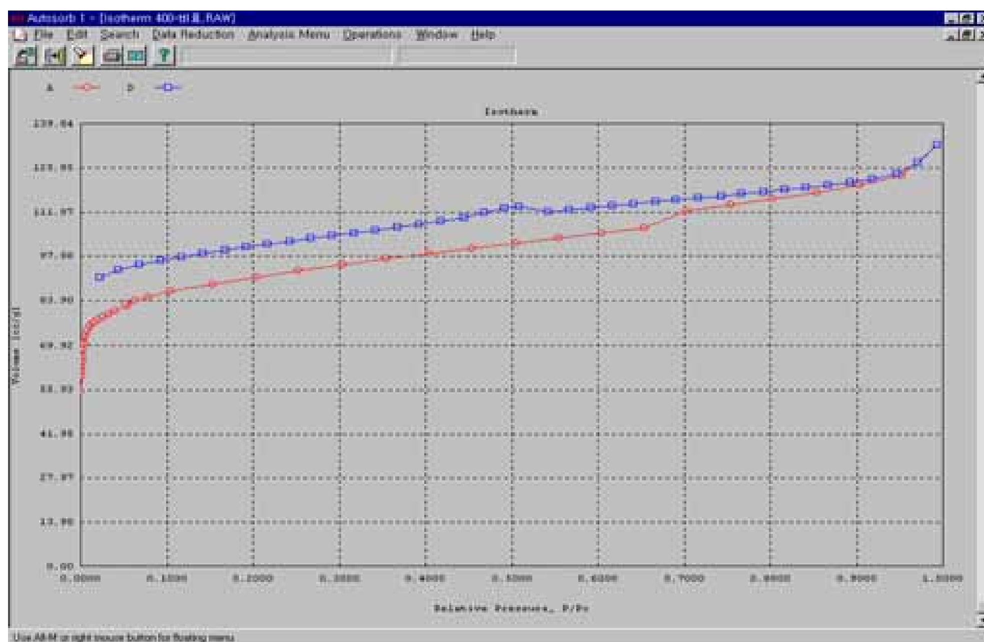
<그림 20>은 참숯 모르타르의 원료로 사용된 목탄의 입도분석 결과를 나타내고 있다. BECKMAN COULTER사의 LS Particle Size Analyzer를 측정기기로 사용하였으며, 평균 입자 크기는 23.03㎛, 중간 입자크기는 16.09㎛이며, 입자크기는 0.1~146.8㎛ 사이에 분포하였다. 또한 목탄 액상 모르타르의 원료로 사용된 목탄의 평균 입자 크기는 1.266㎛, 중간 입자크기는 1.411㎛이며, 입자크기는 0.782~82.72㎛ 사이에 분포하였다.



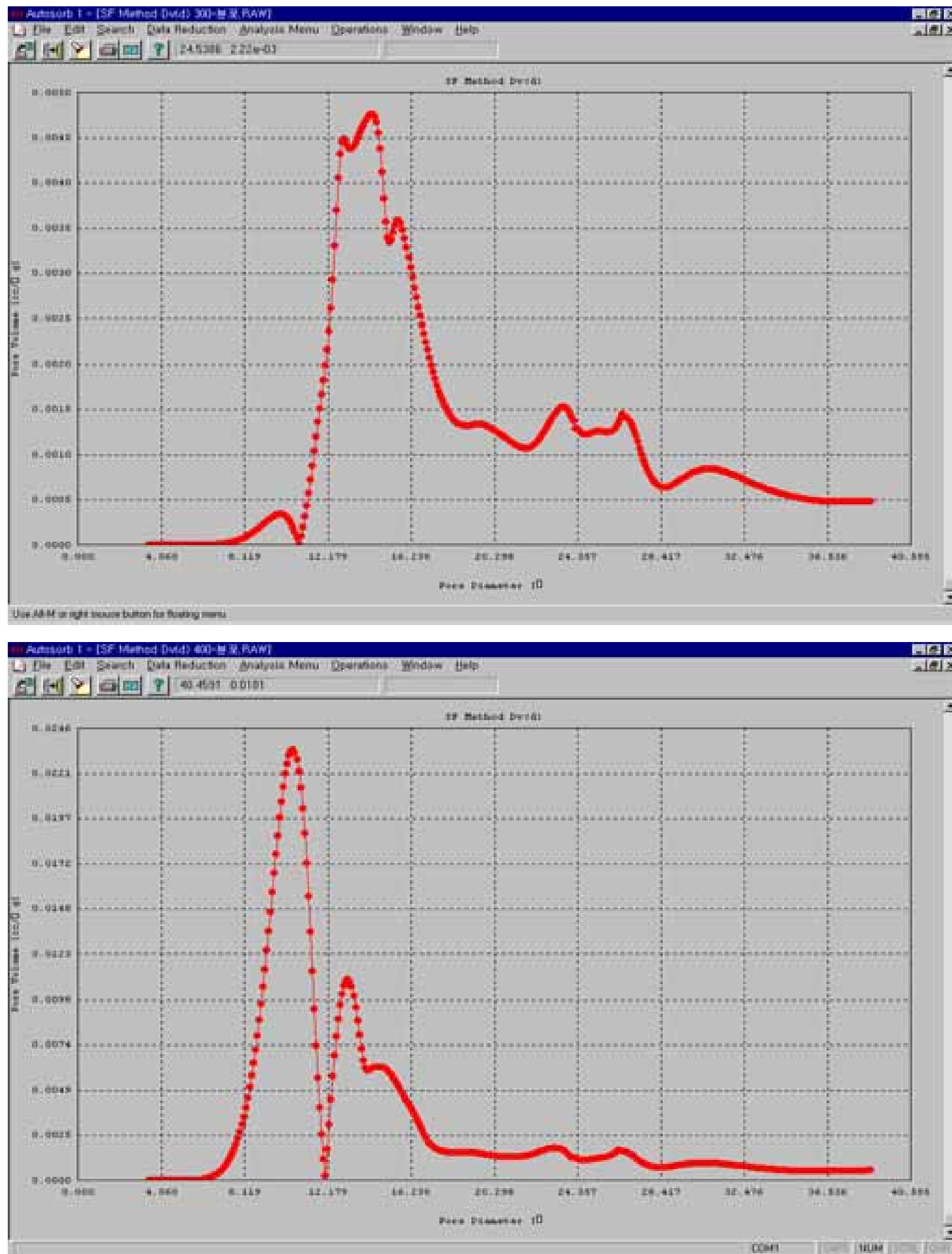
<그림 20> 목탄 분말(평균 500mesh)의 입도 분포

한편 목탄의 입자크기에 따른 비표면적 및 공극분포는 Quantachrome Autosorb-1을 이용하여 측정하였다. <그림 21>은 300mesh 및 400mesh로 분리된 목탄 입자에 대한 상대압력에 따른 흡착 및 탈착 volume을 나타낸 등온선을 나타내고 있다. 또한 <그림 22>는 공극 직경에 따른 volume을 나타내고 있으며, 평균 비표면적은 300mesh의 경우 276.8㎡/g, 400mesh의 경우에는 345.0㎡/g를 나타내었다.





<그림 21> 목탄 입자의 흡 · 탈착 volume 등온선



<그림 22> 목탄 입자의 공극 직경에 따른 volume

2) 목탄 액상 모르타르 물성

가) 주도

액체를 변형할 때 발생하는 저항을 나타낸 것으로, 유체의 유동에는 정성유동, 소성유동, 칙소트로픽, 다이라탄시 등이 있어 저항의 상태에 차이가 발생하며, 정량적으로는 응력 미끄럼 속도 특성을 사용해서 점도변화, 항복치 등으로 나타낼 수 있다. 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 주도는 <표 8>과 같다. 숯을 15%와 30% 첨가하였을 경우 주도는 각 각 71, 82를 나타내어 품질기준인 82~110에 부적합하였다. 그러나 숯 20%, 25% 첨가구에서는 적합한 기준치를 나타냈다.

<표 8> 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 주도

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
주 도	71	100	103	82
품질기준(ku)	82~110			

나) 불휘발분

도료를 일정한 조건에서 가열했을 때 도료 성분의 일부가 휘발 또는 증발한 후 남은 무게의 본래 무게에 대한 백분율로 나타낸다. <표 9>는 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 불휘발분 조사결과로서, 숯 20% 이상 첨가구에서 기준치에 적합하였으며, 15% 첨가구는 기준치에 미달하였다.

<표 9> 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 불휘발분

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
불휘발분(%)	42	56	57	51
품질기준	50% 이상			

다) 건조시간 (고화)

도료가 건조되는데 소요되는 시간으로서, 가열건조에서는 가열장치에 넣은 후부터 건조상태로 될 때까지의 시간을 의미한다. 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 건조시간은 <표 10>과 같다. 목탄 액상 모르타르에 숯 첨가량을 증가시킬수록 건조시간은 지연되었으나, 모든 처리구에서 품질기준인 60분 이내에서 건조가 완료되었다.

<표 10> 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 건조시간(고화)

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
건조시간(분)	15	20	20	23
품질기준	60분 이내			

라) 광택(85°)

물체의 표면에서는 받는 정반사광 성분의 차이에 따라서 일어나는 감각의 속성을 의미하며, 일반적으로 정반사광 성분이 있을 때에 광택이 많다. 도막에서는 광택을 사용하여 입사각, 반사각을 45°:45°, 60°:60° 등으로 하여 거울면 광택도를 측정하여 광택의 정도를 구분한다. 숯 첨가량 변화에 따른 목탄 액상 모르타르의 광택 시험결과는 <표 11>과 같다. 숯 첨가량에 상관없이 모든 첨가구에서 품질기준인 10 이하의 수치를 나타내어 적합한 것으로 조사되었다.

<표 11> 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 광택(85°)

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
광택	1	1	1	1
품질기준	10 이하			

(마) 은폐율

도막이 바탕색의 차이를 덮어 숨기는 정도로, 흑색과 백색으로 칠한 바탕 위에 동일한 두께로 칠했을 경우 도막에 대하여 색 분별이 어려운 정도를 견본품과 비교하여 판단한다. 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 은폐율 측정결과는 <표 12>와 같다. 합성수지 에멀젼 페인트 (내부용) 2종 1급의 은폐율 품질기준은 0.92 이상으로 규정되어 있으며, 숯 첨가량에 관계없이 은폐율 0.96을 나타내어 적합한 것으로 조사되었다.

<표 12> 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 은폐율

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
은폐율	0.96	0.94	0.99	0.99
품질기준	0.92 이상			

바) 내세척성

오염을 제거하기 위하여 세척했을 경우 도막이 쉽게 마모되거나 손상되지 않는 성질로서, 에멀젼 페인트, 수성도료 등에 대하여 시험을 한다. 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 내세척성을 조사한 결과는 <표 13>과 같으며, 숯 첨가량에 상관없이 품질기준에 적합하였다.

<표 13> 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 내세척성

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
내세척성	이상 없음	이상 없음	이상 없음	이상 없음
품질기준	이상 없음			

(사) 냉동안정성

산의 작용에 저항하여 쉽게 변화하지 않는 도막의 성질로, 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 냉동안정성을 조사한 결과는 <표 14>와 같으며, 모든 숯 첨가구에서 품질기준에 적합하였다.

<표 14> 숯 첨가량에 따른 액상 모르타르의 냉동안정성

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
냉동안정성	이상 없음	이상 없음	이상 없음	이상 없음
품질기준	이상 없음			

아) 용기 내에서의 상태

도료를 용기에 넣어 저장한 후의 상태로서, 안료를 함유한 도료에서는 교반하였을 경우 균일한 상태로 유지되어야 한다. <표 15>는 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 용기 내에서의 상태를 조사한 결과로, 모든 숯 첨가구에서 용기 내에서 이상이 없는 것으로 나타났다.

<표 15> 숯 첨가량에 따른 액상 모르타르의 용기 내에서의 상태

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
용기 내 상태	이상 없음	이상 없음	이상 없음	이상 없음
품질기준	이상 없을 것			

(자) 내알칼리성

알칼리성의 작용에 대하여 쉽게 변화되지 않는 도막의 성질을 측정하는 방법으로, <표 16>에서 보는 바와 같이 숯 첨가량에 상관없이 품질기준에 적합하였다.

<표 16> 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 내알칼리성

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
내알칼리성	이상 없음	이상 없음	이상 없음	이상 없음
품질기준	이상 없음			

차) 저장안정성

저장하는 동안 쉽게 변질되지 않는 성질로서, 도료를 일정한 조건으로 저장한 후 칠했을 경우, 칠하는 작업이나 형성된 도막에 지장 유무를 조사하여 판정하게 되며, <표 17>에서와 같이 모든 첨가구에서 품질기준을 충족하였다.

<표 17> 숯 첨가량에 따른 목탄 액상 모르타르의 저장 안정성

숯 첨가량(%)	15	20	25	30
저장안정성	이상 없음	이상 없음	이상 없음	이상 없음
품질기준	이상 없음			

3) 참숯 모르타르 물성

가) 압축강도 변화

참숯 모르타르의 숯 첨가량에 따른 압축강도 변화는 <표 18> 및 <그림 23>과 같다. 건조 시멘트 모르타르의 압축강도는 7일과 28일을 기준으로 측정하며, KS 일반미장용 모르타르의 압축강도는 7일과 28일을 기준으로 각각 7.1N/㎟ 이상, 10.2N/㎟ 이상으로 규정하고 있다. 숯을 첨가하지 않은 미

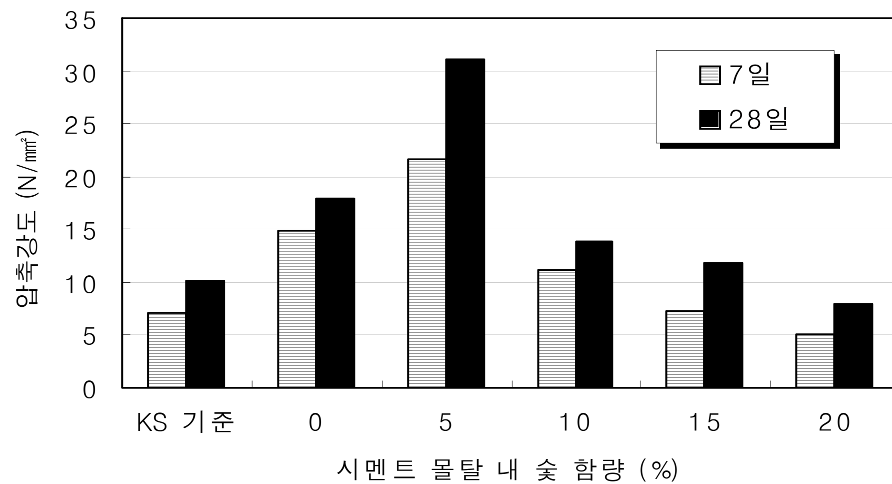
첨가구의 경우 7일째 압축강도가 14.9N/㎟, 28일 경과 후에는 17.9N/㎟를 나타냈으며, 숯을 5% 첨가함에 따라 7일째 21.7N/㎟, 28일에는 31.1N/㎟로 기준치와 비교하여 상당히 우수한 압축강도를 보였다. 숯을 10% 첨가함에 따라 7일 경과 후 11.2N/㎟, 28일 경과 후에는 13.9N/㎟를 나타냈으며, 15% 숯 첨가까지도 KS 일반 미장용 모르타르 기준을 상회하였다. 그러나 숯을 20% 이상 첨가하였을 경우에는 기준치 미만의 수치를 나타내어, 참숯 모르타르의 숯 첨가량은 15% 이하가 적정한 수준인 것으로 판단된다. 또한 숯 첨가량이 증가할수록 압축강도의 하락이 발생하였다.

숯 10%이상의 첨가구에서 압축강도가 급격히 감소하는 것은 숯에 포함되어 있는 미세 공극량의 증가에 기인한다고 본다. 그러나 10%이하의 첨가구에서는 미세 공극량도 적고 또한 보수성이 증가되기 때문에 기존 시멘트보다 압축강도가 높다고 사료된다.

숯을 5% 첨가한 경우 압축강도가 제일 높으나, 본 실험동에서는 숯을 10% 첨가한 숯 모르타르를 사용하였다. 이는 압축강도 이외의 다른 특성도 고려한 것이다. 현재 본 결과를 참고하여 7%의 숯이 함유된 숯 모르타르를 제조 판매하고 있다.

<표 18> 숯 첨가량에 따른 압축강도 변화 (7일, 28일)

시험항목 / 시료구분	압축강도(7일) [N/㎟]	압축강도(28일) [N/㎟]
KS일반 미장용 모르타르	7.1 이상	10.2 이상
미 첨가구	14.9	17.9
숯 5%	21.7	31.1
숯 10%	11.2	13.9
숯 15%	7.2	11.8
숯 20%	5.0	8.0



<그림 23> 숯 함량 변화에 따른 참숯 모르타르 압축강도

나) 보수성 변화

보수성이란 물과 모르타르과의 분리를 방지하는 정도를 측정하는 것으로 수치가 높을수록 유리하다. 숯 첨가량 변화에 따른 참숯 모르타르의 보수성 변화는 <표 19>와 같다. 숯을 첨가하지 않은 미첨가구의 경우 68%의 보수성을 나타낸 반면, 숯을 5% 첨가함에 따라 76%로 8%의 보수성 증가를 나타냈으며, 숯 첨가량이 5% 증가할수록 약 2~3%의 보수성이 지속적으로 증가하였다. 이러한 보수성의 증가는 숯 첨가량의 증가에 따라 공극이 많아지는데 기인한다고 본다.

<표 19> 숯 첨가량에 따른 보수성 변화

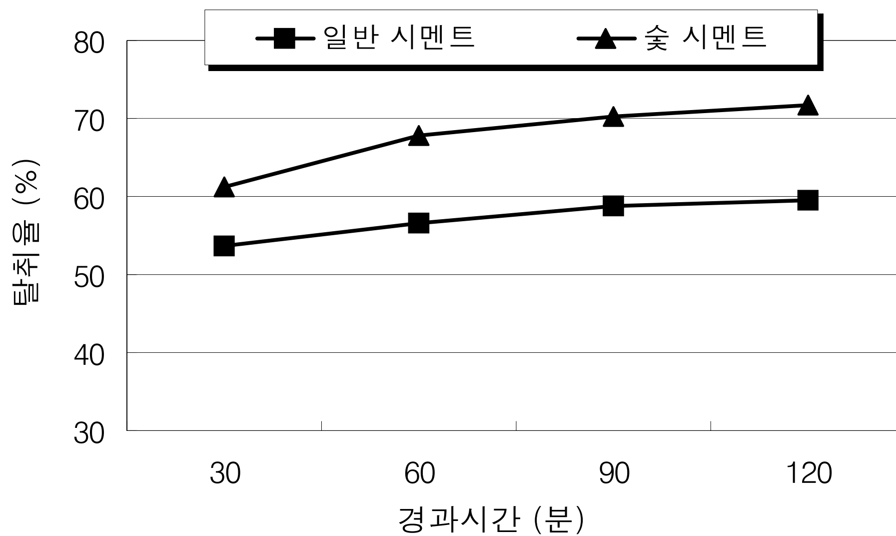
시험항목 / 시료구분	보수성 (%)
KS일반 미장용 모르타르	70 이상
미 첨가구	68
숯 5%	76
숯 10%	78
숯 15%	80
숯 20%	83

다) 탈취시험

숯 첨가 시멘트 모르타르인 참숯 모르타르의 탈취력을 조사한 결과는 <표 20> 및 <그림 24>와 같다. 본 실험의 현장에 사용된 건물(실험동)의 시멘트 모르타르 자재는 일반시멘트(대조구, A동)와 숯 첨가 시멘트 모르타르(B동)의 2종류였으며, 숯 첨가량은 10%로 고정하였다. 탈취시험은 암모니아(NH3)가스의 시간경과(30, 60, 90, 120분)에 따른 시료농도 차이에 의해 계산하였다. 일반시멘트 모르타르의 경우 30분경과 후 53.6%의 탈취율을 나타낸 반면, 참숯 모르타르의 경우 61.3%로 약 7.7%의 탈취율 개선이 나타났다. 또한 일반시멘트 모르타르은 120분경과 후 59.5%, 참숯 모르타르은 71.6%로 약 12.1%의 탈취율 차이를 나타내었다. 따라서 시멘트 모르타르에 대한 암모니아 가스의 탈취율은 숯 첨가에 따라 개선됨을 알 수 있다.

<표 20> 참숯 모르타르의 탈취력

시험항목	탈취시험(NH_3)		시험항목	탈취시험(NH_3)	
	경과시간(분)	탈취율(%)		경과시간(분)	탈취율(%)
일반시멘트 모르타르	30	53.6	참숯 모르타르	30	61.3
	60	56.6		60	67.8
	90	58.8		90	70.2
	120	59.5		120	71.6



<그림 24> 시간 경과에 따른 탈취율 변화

나. 건축자재 종류에 따른 보일러 기름 절감량

1) 실험동 주위에 천막을 친 경우의 기름 소비량

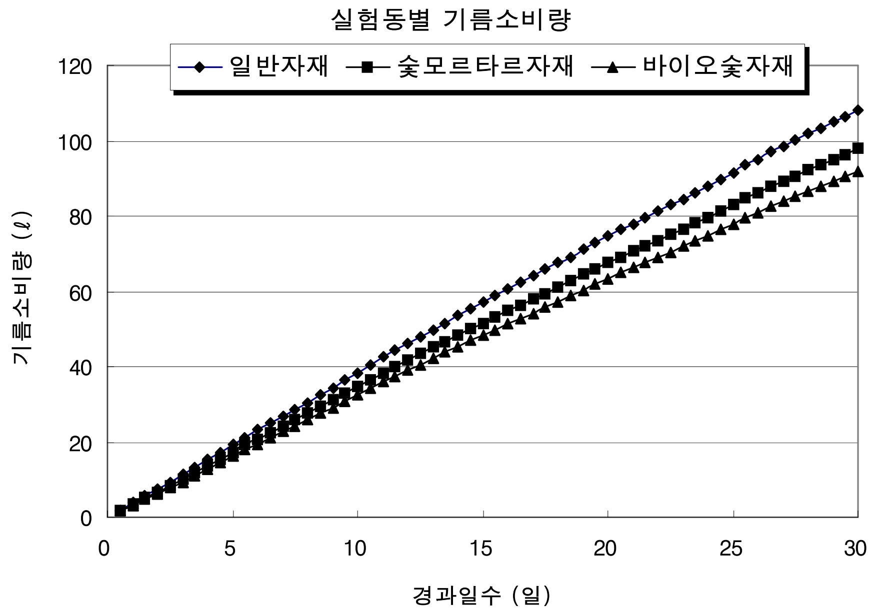
외부의 온도 변화가 기름 소비량 측정에 영향을 줄 것을 우려하여 건물 주위에 천막을 설치하여 외부 온도를 균일화 시킨 후에 측정하였다. 숯의 축열 기능을 이용하여 건물의 보일러 기름 절감량을 측정하고자 일반적으로 건축시공에 이용되고 있는 일반 건축자재로 지어진 건물(대조구, A동) 및 숯을 이용한 자재를 사용한 건물(B, C동)에 대하여 조사하였다. 그림 8과 9에서 나타낸 것과 같이 실내에 설치된 보일러 control box의 온도를 25.5℃±0.5℃로 조절한 후, 디지털 다용도 기록계에 온도센서 케이블(K type)을 연결하여 실내 및 실외온도를 확인하였다. 또한 실외 환경요인(풍향, 풍속 등)의 영향을 최소화하기 위해 건물 외부에 비닐 천막을 설치하였다. 보일러의 기름 사용량은 보일러에 연결된 정밀유량계에 표시된 유량을 오전 8시 및 오후 8시에 하루 2회 측정하였으며, 30일간 측정한 자료를 누적하여 1 cycle로 평가하였다. 총 3 cycles을 측정하였다.

건축자재에 형태에 따른 보일러 기름소비량을 평균 외부기온 3.7℃, 5.7℃, 15.7℃에서 각 30일간 씩 조사한 결과는 <부록 1>과 같다. 이들 3 개월 간의 결과를 평균한 1 개월 간의 평균 기름 소비량은 <부록 2>와 같다. 그리고 건축자재 종류에 따른 기름 소비량을 측정하기 위해서 실내(1m 높이 공기)와 실외의 온도변화를 자동검지한 결과는 <그림 7, 8>에 기록되어 있다.

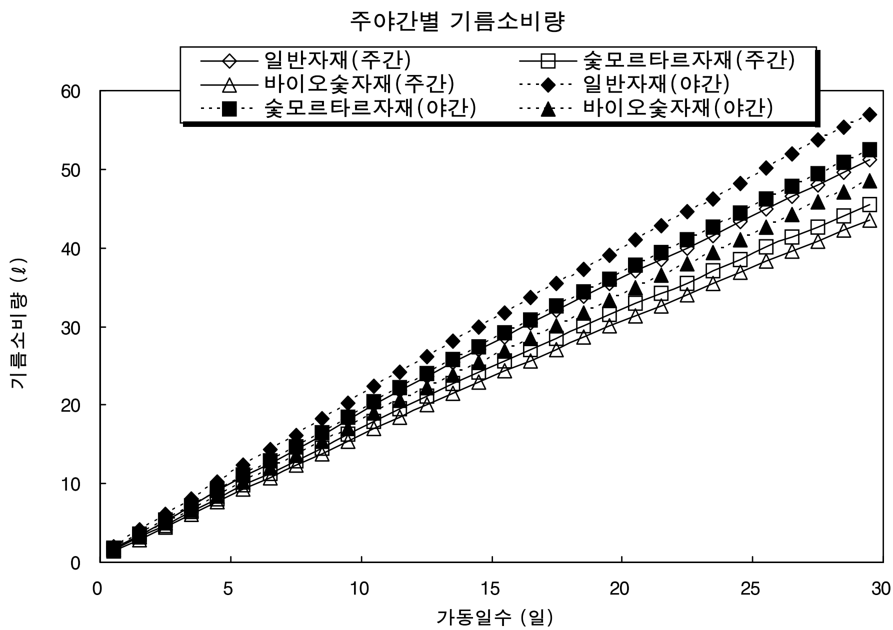
3회 측정치를 평균하여 총 기름소비량을 계산하였다. <표 21>과 <그림 25, 26>에서와 같이 일반건축 자재를 사용한 실험동(이하 A동으로 표시)에서는 113.49ℓ (3.78ℓ/일), 숯 모르타르를 사용한 실험동(이하 B동으로 표시)에서는 102.69ℓ (3.42ℓ/일), 바이오숯 모르타르를 사용한 실험동(이하 C동으로 표시)에서는 96.34ℓ (3.21ℓ/일)를 나타내어 숯 모르타르 자재의 경우는 30일간 10.8ℓ, 바이오 숯 모르타르에서는 17.15ℓ 각각 기름이 절감되어 가각 약 9.5%, 15.1% 에너지 절감효과가 나타났다.

<표 21> 건축자재별 기름소비 특성

	일반건축자재	참숯모르타르	바이오숯모르타르
1일평균소비량 (ℓ)	4.194	3.790	3.533
1개월소비량 (ℓ)	126	114	106
절감율 (%)	-	9.4	15.1



<그림 25> 건축자재에 형태 별 보일러 기름소비량



<그림 26> 건축자재별 및 주・야간별 보일러 기름소비량

각 동별의 주간(09:00~21:00)과 야간(21:00~09:00)시간대의 기름 소비량을 조사한 결과는 <그림 26>과 같다. 주간에는 A동 약 55ℓ, B동 약 50ℓ, C동은 약47ℓ로, B동에서 약 9.1%, C동에서는 약 14.5% 절감효과를 보였으며, 야간에는 A동 53ℓ, B동 약 48ℓ, C동은 약45ℓ로, B동에서 약 9.4%, C동에서는 약 15.1% 절감효과를 보였다. 주야간을 종합하면 바이오 숯 모르타르를 사용한 C동의 기름절감효과가 가장 컸다.

2) 실험동 주위에 천막을 제거한 경우의 기름소비

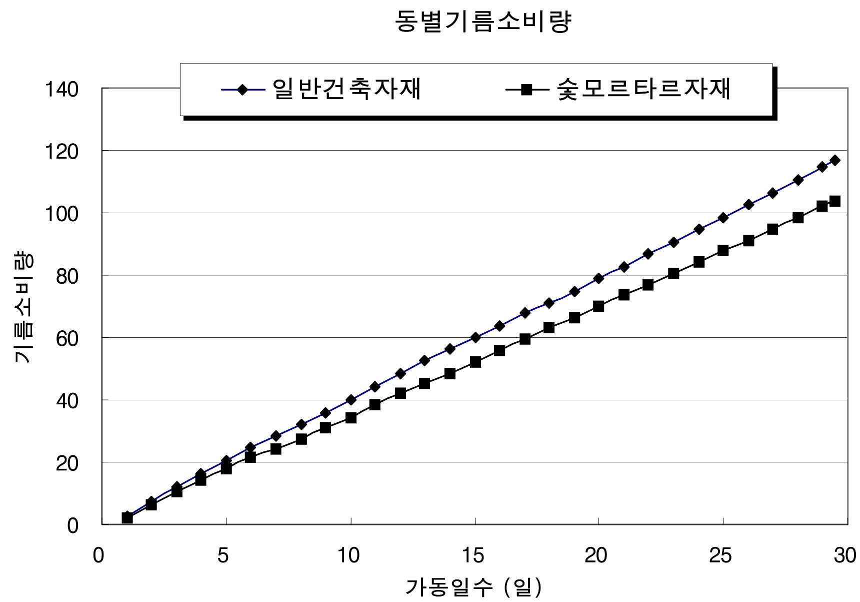
실험동 주위에 있던 천막을 벗기고 바람 및 외기 온도에 영향을 받았을 경우의 기름소비량을 조사한 결과는 <표 22>와 같다.

<표 22> 건축자재별 주야간 기름소비량 및 기름절감율

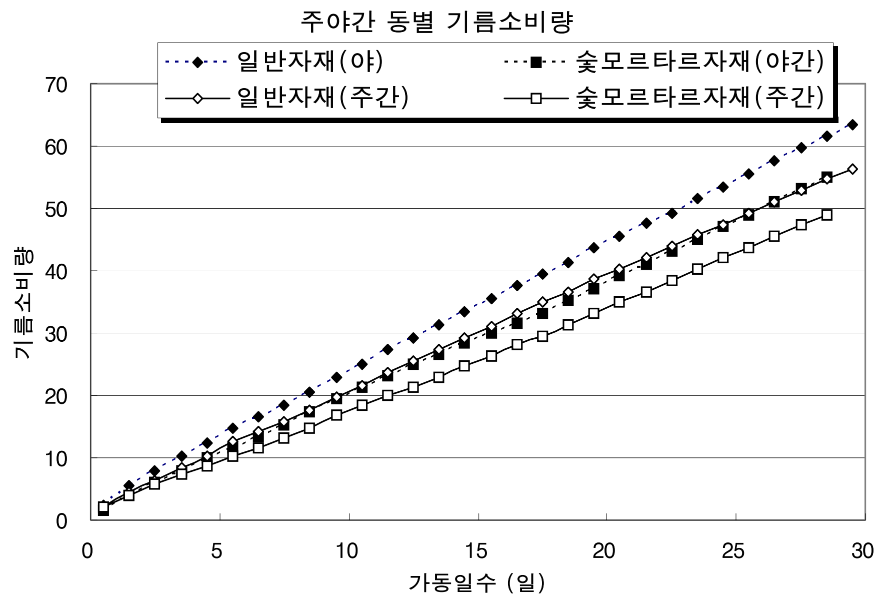
	야 간		주 간	
	1개월 소비량(ℓ)	절감율(%)	1개월 소비량(ℓ)	절감율(%)
일반건축자재	63.50		55.10	
참숯모르타르	56.30	11.4	49.00	10.9

<그림 27>에서와 같이 천막이 있었을 때와 같이 일반건축자재에 의한 실험동보다는 목탄건축자재의 실험동의 기름소비량이 적었고 이때의 기름절감율은 11.2%로서 천막이 있었을 때의 9.4%보다 높았다. 이는 측정시의 1달 평균 외기 온도가 1.4℃로 매우 낮았기 때문에 기름소비량이 많았으며, 그로인해 절감효과가 크게 나타난 것으로 사료된다. 천막이 있을 때와 없을 때의 기름소비량은 외기온도에 의한 영향이 크며, 외기온도가 낮을수록 기름소비량이 많은 것으로 나타났다.

또한 <그림 28>에서 보는바와 같이 야간과 주간으로 나누어 기름소비량의 변화를 조사한 결과, 건축자재의 종류에 관계없이 야간의 기름소비량이 주간의 기름소비량보다 많은 경향이 뚜렷하였다. 이는 야간의 평균 외기 온도가 -0.8℃로 주간의 3.6℃보다 높았기 때문으로 판단된다.



<그림 27> 건축자재별 보일러 기름소비 변화 (천막제거)



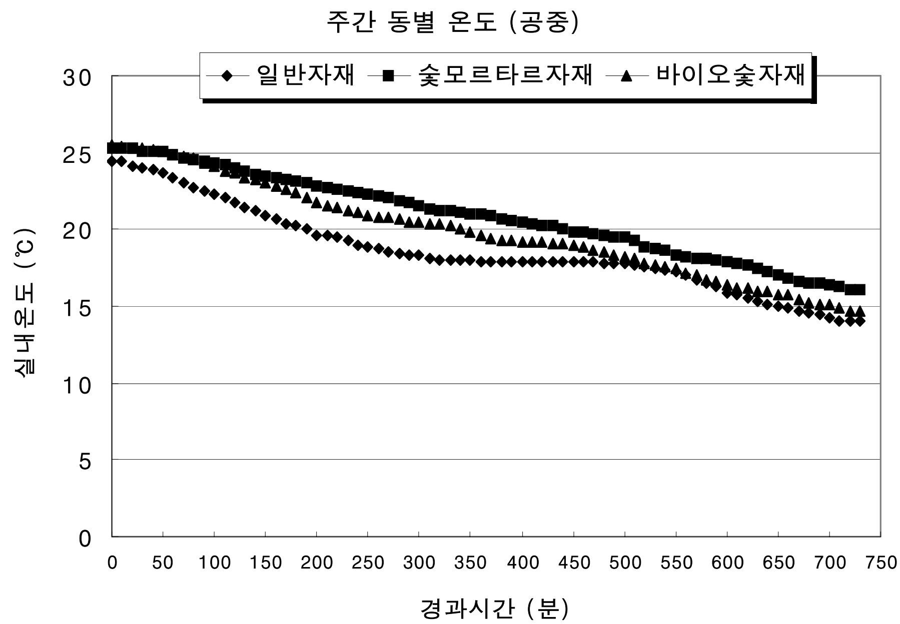
<그림 28> 건축자재별 주・야간의 보일러 기름소비 변화 (천막제거)

다. 건축자재 종류에 따른 축열량

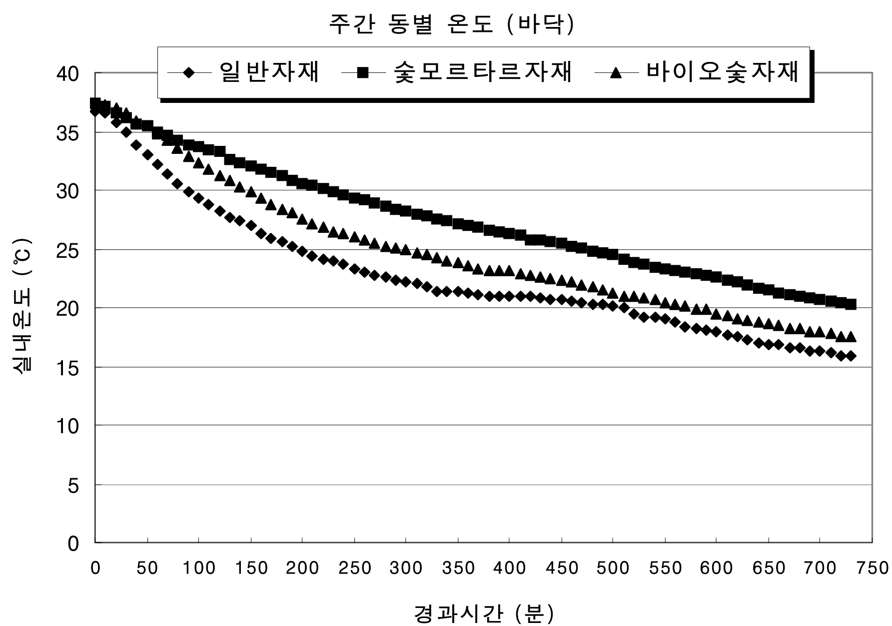
1) 실측에 의한 축열효과

가) 주간의 실내 온도변화

보일러를 가동하여 공중 35±2℃, 바닥 25±1℃로 조정한 실내에 대하여, 보일러 가동을 중단하여 실내 온도저하 추이를 조사한 결과<그림 29, 30>, 주간(08:00~20:00)에 있어서 일반건축자재를 사용한 A동에 비해 참숯 모르타르를 사용한 B동, 숯과 세라믹자재(sericite)를 이용한(바이오 숯 모르타르) C동의 실내온도 저하가 늦어지는 경향이 있다. 그 중 B동의 온도저하가 가장 늦었으며, C동은 B동에 비해 온도저하 정도가 빨랐으나, 대조구로 조사한 일반건축자재에 의한 A동에 비해서는 온도저하 정도가 뚜렷하게 차이가 있었다. 특히 각 실험동의 바닥면에 있어서는 공중에 비해 온도저하 정도가 각 동에 대한 축열효과가 보다 명확하였다. 이는 건축자재에 목탄을 혼합하여 건축한 경우, 일단 보일러 등에 의해 에너지를 공급받아 온도가 오르면 목탄의 공극 속에 함유된 still air가 그 열에너지를 흡수하며 다시 온도가 낮아지면 서서히 방출하는 축열효과가 있기 때문으로 생각된다. 이러한 효과는 궁극적으로 실내온도가 낮아짐으로서 보일러 가동에 의한 에너지 소비를 줄이는 역할을 하는 것으로 생각된다.



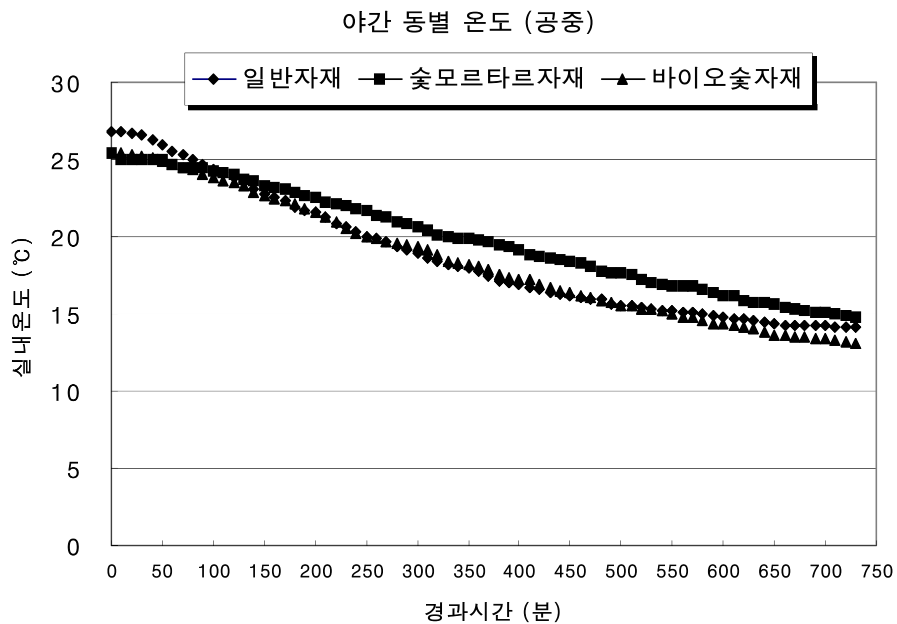
<그림 29> 건축자재별 주간의 실내온도(공기) 변화



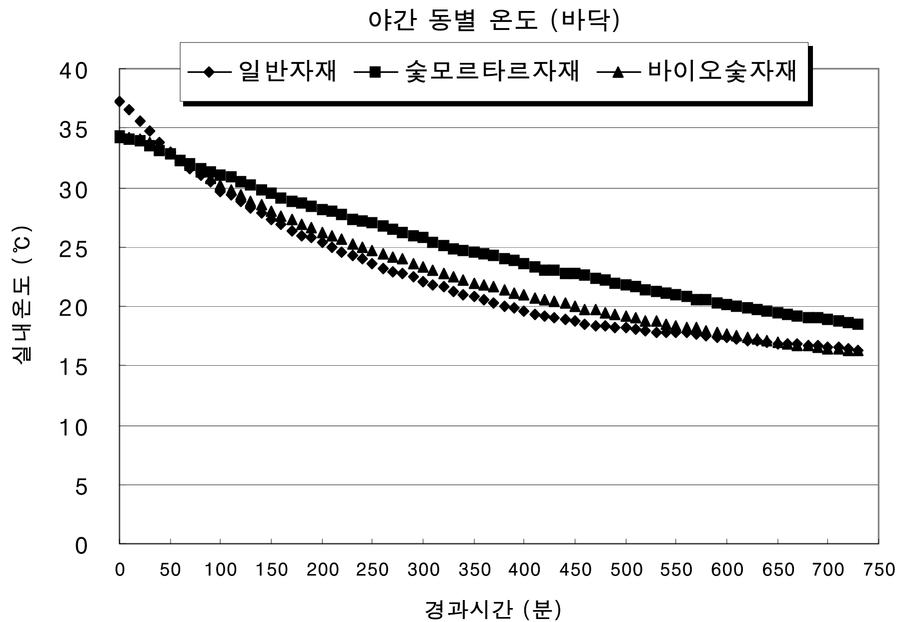
<그림 30> 건축자재별 주간의 실내온도(방바닥) 변화

나) 야간의 실내 온도변화

야간에 측정한 실내 공기<그림 31>과 방바닥<그림 32>의 결과에 따르면, 야간에 있어서도 주간에서와 마찬가지로 일반건축자재를 사용한 실험동 A동보다는 참숯 모르타르 자재를 사용한 실험동 B동이 온도변화로 조사한 축열효과가 큰 것으로 나타났다. 숯과 세라믹 모르타르을 사용한 C동은 A동과 크게 다르지 않은 것으로 나타났으나, A동의 경우 C동에 비해 시작온도가 2~3℃ 높았던 것을 감안하면 다소의 축열효과가 인정된다고 생각된다.



<그림 31> 건축자재별 야간의 실내온도(실내공기) 변화



<그림 32> 건축자재별 야간의 실내온도(방바닥) 변화

2) 각 실험동에 있어서 20℃에 이르는 경과시간

각 실험동에 있어서 냉각되어 실내온도가 20℃에 이를 때까지의 경과시간을 조사한 바, <표 23>에서와 같이 주야간, 온도측정위치에 관계없이 모두 B동이 가장 늦고 A동이 가장 빠른 것을 알 수 있었고, C동 또한 A동에 비해 20℃에 도달하는 시간이 지연되어 실내 온도 유지에 목탄이 효과적이라는 것이 인정된다.

<표 23> 동별, 위치별 20℃에 이르는 시간

동별	주간		야간	
	실내공기	방바닥	실내공중	방바닥
일반자재	190분	510분	250분	385분
숯모르타르자재	445분	720분 이상	330분	605분
바이오숯모르타르자재	345분	575분	250분	450분

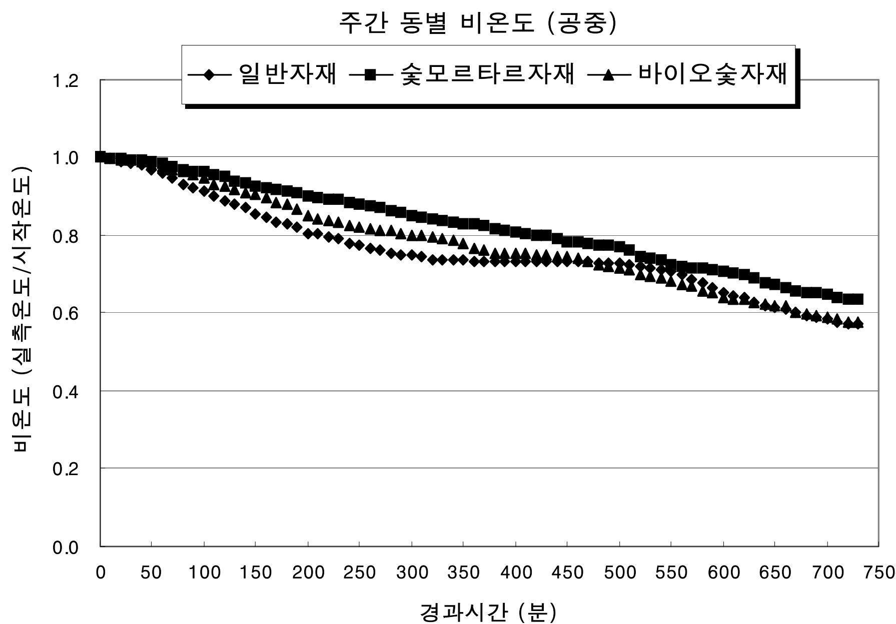
※ 보일러를 가동하여 공중 35±2℃, 바닥 25±1℃로 조정한 실내를 보일러 가동을 중단하여 실내 온도저하 추이를 조사함.

3) 비온도에 의한 축열효과

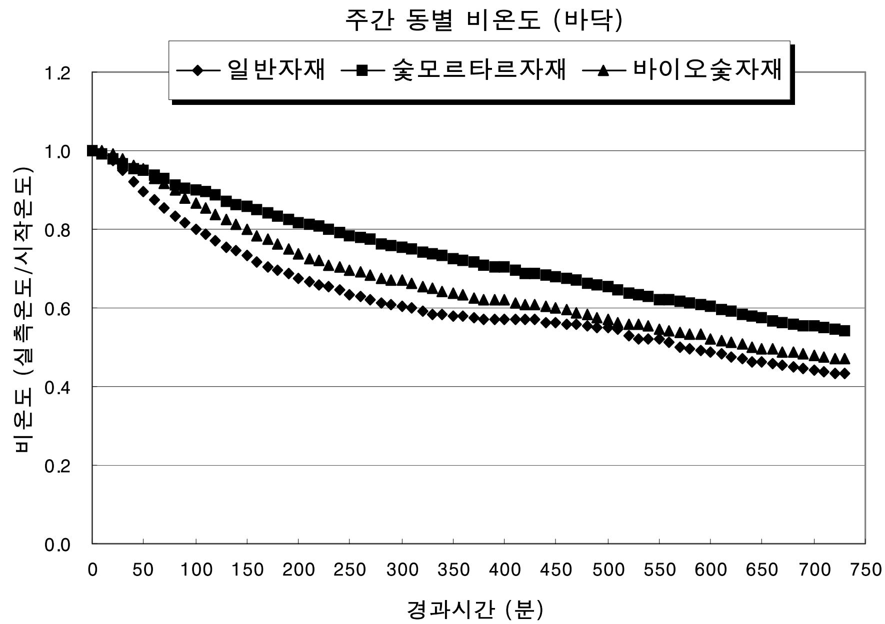
가) 실내 비온도 변화

주간에는 각 실험동의 냉각시작 온도 차이가 1℃전후였는데 비해 야간에는 A동이 B, C동에 비해 약 3℃정도 높은 온도로 시작되어 되었기 때문에 실내 온도의 단순비교로는 축열효과의 정확한 판단이 다소 어려울 것으로 판단되어 동일온도에서의 냉각 시작을 가정하여 실내의 각 실측온도를 시작온도로 나누어 상대적인 온도로 환산한 비온도로 나타내었다. 따라서 냉각시작을 갖은 점에서 출발하는 것으로 나타내었기 때문에 경향은 같으나, 각 실험동의 상대적인 온도저하 정도를 비교하는 데에 유리할 것으로 사료된다.

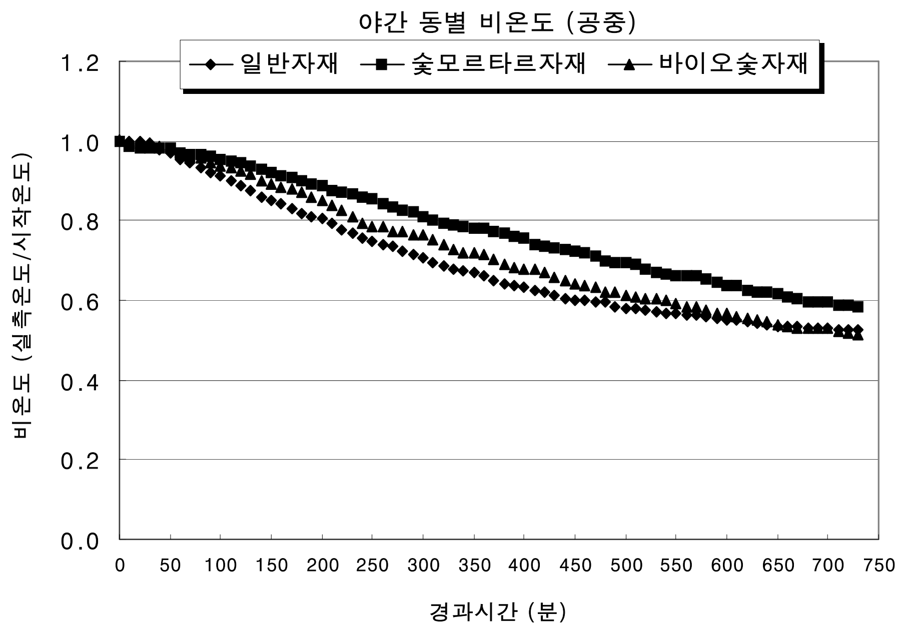
<그림 33, 34>는 주간의 실내비온도(공중, 방바닥)를 그리고 <그림 35, 36>은 야간의 실내비온도(공중, 방바닥)를 나타낸다. 이들 결과는 실측에 의한 축열결과와 동일한 경향을 나타내었다. 야간의 경우 건축자재별 결과가 더욱 명확하였다.



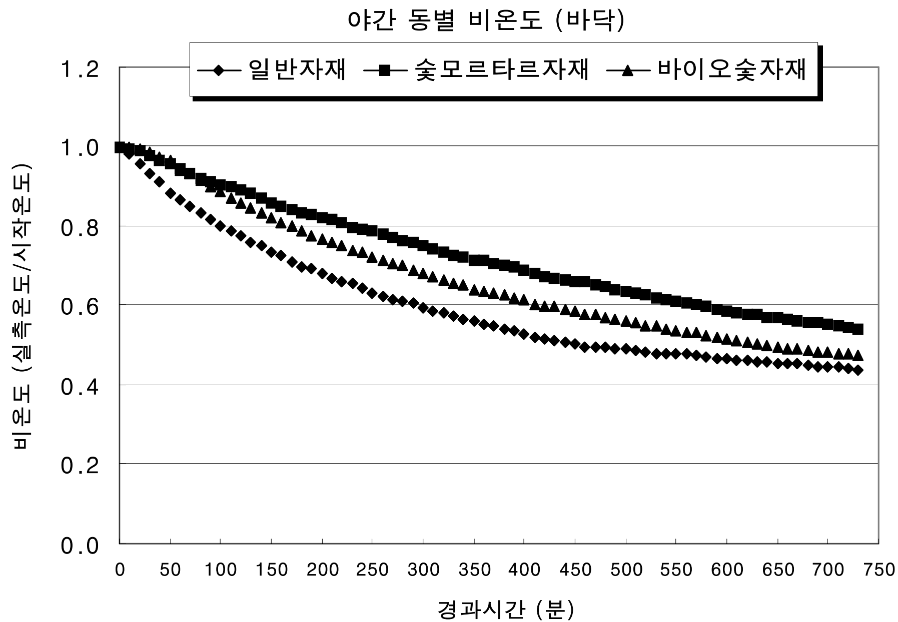
<그림 33> 건축자재별 주간의 실내 비온도(공중) 변화



<그림 34> 건축자재별 주간의 실내 비온도(바닥) 변화



<그림 35> 건축자재별 야간의 실내 비온도(공중) 변화



<그림 36> 건축자재별 야간의 실내 비온도(바닥) 변화

나) 각 실험동에 있어서 비온도 0.6에 이르는 경과시간

각 실험동에 있어서 비온도 0.6(시작온도의 60%까지 냉각되는 온도)에 이르는 경과시간을 조사한 바, <표 24>에서와 같이 실측온도에서는 주야간, 온도 측정위치에 관계없이 모두 B동이 가장 늦고 A동이 가장 빠르게 나타났고, C동 또한 A동에 비해 비온도 0.6에 도달하는 시간이 지연되어 실내 온도 유지에 목탄이 상대적으로 효과적이라고 할 수 있다.

<표 24> 동별, 위치별 비온도 0.6에 이르는 시간

동별	주 간		야 간	
	실내공기	방 바 닥	실내공기	방 바 닥
일반자재	670분	305분	455분	290분
숯모르타르자재	720이상	600	665분	570분
바이오숯모르타르자재	675분	445	520분	415분

※ 동일한 온도에서 보일러 가동을 중단하여 냉각이 시작 되었을 때의 실내 온도저하 추이를 조사함.

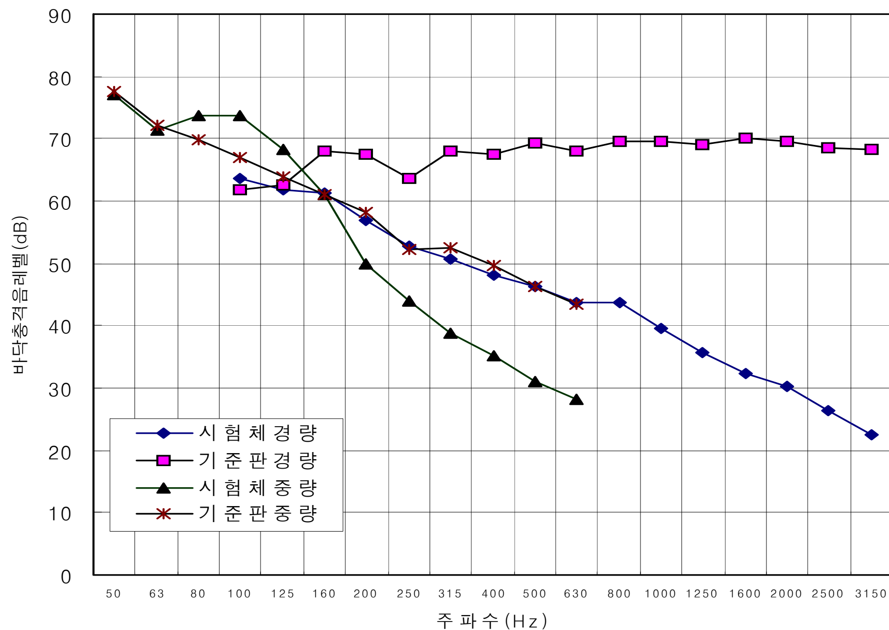
라. 층간소음(바닥충격음레벨)

목탄을 이용한 건축자재로 바닥을 시공할 경우 층간소음(바닥충격음레벨)을 측정하였다. 본 연구에서 시공바닥구조는 260mm(참숯 모르타르40 / 참숯 자갈 40 / 단열재 스티로폼 30 / 철조 콘크리트 슬래브 150)였으며 경량충격음은 KS F 2815(2002), 그리고 중량충격음은 KS F 2810-2(2001)을 준용하여 방재시험연구원에서 측정하였다.

<표 25>와 <그림 37>에서 보는 바와 같이 경량충격음(dB)은 측정 초기 저주파에서는 시험체와 기준판 모두 비슷한 수치를 내었다. 그러나 주파수(110㎐이상)가 증가함에 따라 시험체의 경량충격음은 급속히 감소하나 시험체는 초기 값을 그대로 유지하였다. 한편 중량충격음(dB)의 경우 저주파에서 시험체가 기준판보다 수치가 높은 경우가 나타났다. 그러나 곧 주파수(150㎐이상)가 증가하면서 시험체의 경우 뚜렷하게 낮은 dB값을 나타내었다.

<표 25> 바닥충격음레벨측정 시험결과

주파수(㎐)			50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
바닥충격음레벨(dB)	경량충격음	시험제	-	-	-	63.6	61.8	61.3	57.0	52.7	50.8	48.1	46.3	43.8	43.6	39.5	35.6	32.2	30.3	26.3	22.4
		기준판	-	-	-	61.8	62.7	68.1	67.5	63.7	67.9	67.6	69.2	68.0	69.5	69.5	69.0	70.2	69.5	68.6	68.2
	중량충격음◎	시험제	77.0	71.5	73.7	73.7	68.4	61.1	50.0	43.9	38.9	35.2	31.0	28.1	-	-	-	-	-	-	-
		기준판	77.5	72.2	69.7	67.1	64.0	61.0	58.2	52.3	52.6	49.6	46.4	43.5	-	-	-	-	-	-	-



<그림 37> 주파수에 따른 바닥충격음레벨

이상의 결과를 근거로 하여 역A특성 가중규준화 바닥충격음레벨을 환산하면 <표 26>과 같다.

<표 26> 역A특성 가중규준화 바닥충격음레벨

	기준판[1)]	목탄건축자재[2)]	기준판/기존자재[3)]	기준판/기존자재[4)]
경량충격음	72dB	49dB	63dB	55-56dB
중량충격음	49dB	52dB	-	-

1) 기준판 : 콘크리트 슬래브 150mm
2) 목탄건축자재 : 콘크리트 슬래브 150mm / 단열재 스티로폼 30 / 참숯자갈 40 / 참숯모르타르 40 /
3) 기준판/기존자재 : 콘크리트 슬래브 150mm / 단열재 스티로폼 20이상 / 경량기포콘크리트 40 / 마감모르타르 40
4) 기준판/기존자재 : 콘크리트 슬래브 150mm / 저감단층재 20이상 / 경량기포콘크리트 40 / 마감모르타르 40
※ 3)과 4)의 결과는 S건설사 기술연구소 기존 내부 결과치

이상의 <표 26>에서 보는 바와 같이 목탄 건축자재의 경량충격음은 기준판에 비하여 23dB의 차음효과가 있다. 또한 A동의 기존자재에 비교하면 14dB 그리고 저감단층재를 설치한 바닥층보다도 6-7dB 차음효과가 높다. 따라서 150mm 콘크리트 슬래브와 목탄건축자재 시공으로도 현재 경량충격음 차단 성능은 등급기준 3급(48<L`n, AW≤53)에 해당된다(16).

한편 중량충격음(dB)은 기준판이 49dB고 국내기준이 50dB이므로 측정치는 2dB이 부족하여 4급에 해당되지 않는다. 이러한 현상은 저주파에서만 나타나고 고주파에서는 문제가 없었다. 이러한 이유는 본 측정이 표준실에서 실시하지 않고 자양실에서 행하였으며 또한 1.5초 간격에서는 측정하지 않고 1초 간격으로만 측정한 비공인 결과인데도 그 원인이 있다고 본다.

일반적으로 슬래브의 두께와 강성이 증가하면 경량충격음과 중량충격음 모두 증가한다(17). 현재 콘크리트 슬래브 두께는 180mm에서 210mm로 향상되고 있으므로 목탄건축자재사용에 의한 층간 소음은 문제가 되지 않는다. 경량충격음의 결과로 판단하면 목탄건축자재를 사용할 경우 슬래브 두께를 180mm로 하여도 충분할 것으로 사료된다.

마. 결로측정

결로현상은 습한 공기가 차가운 물체의 표면에 닿으면 공기중에 함유된 수분이 응축되어 그 물체표면(표면결로)에 이슬을 맺는 현상으로 주택에서도 자주 발생한다. 결로 발생원이 실내·외의 온도차, 상대습도, 벽체의 열관류율, 공기의 대류, 시공 구조 중 복잡하고 다향하므로 그 대책도 경우에 따라 다르다고 할 수 있다(18). 결로는 구조체의 열저항이 동일할 경우 실내외 온습도 조건에 따라 발생여부가 결정된다. 일반적으로 현장에서 일정한 온도와 습도를 기준으로 하여 결로방지 설계를 한다.

본 연구에서는 실내외 온도차이를 25℃ 이상으로 두었으며 습도도 55% 이상으

로 유도하면서 이슬점 및 유리창문의 수분 응축을 육안으로 확인 하였다.

1) 현 상태에서 온·습도 및 결로점 변화

가습을 하지 않고 현 상태에서 대조구 A동과 목탄자재로 처리된 C동의 20시부터 익일 07시까지의 온도, 습도 및 결로점 변화는 <표 27>과 같다.

<표 27> 현 상태에서 온·습도 및 결로점 변화

측정 요소	평균 온도(℃)	평균 습도(%)	평균 결로점(℃)
실외 공기	-3.36±2.93	40.14±7.20	13.98±0.82
A동 실내공기	24.41±0.49	13.91±1.15	4.41±0.73
C동 실내공기	24.25±0.27	12.88±0.82	5.40±0.57

<표 27>에서 보는 바와 같이 상기 조건에서는 A동과 C동 어디에도 창문에 수분 응결은 나타나지 않았다.

2) 실내에 가습할 경우 온·습도 및 결로점 변화

실내에서 가습기를 가동하여 실내 습도를 70%를 목표로 하여 습도를 상승시키면서 온도, 습도 및 결로점을 측정한 결과는 <표 28>과 같다.

<표 28> 습도 상승에 따른 온도, 습도 및 결로점 변화

측정 요소	평균 온도(℃)	평균 습도(%)	평균 결로점(℃)
실외 공기	-4.67±1.51	59.66±13.51	10.85±1.28
A동 실내공기	23.57±0.13	55.33±10.81	13.83±3.41
C동 실내공기	24.29±0.46	47.80±10.13	12.07±3.82

03시 경우 실외 공기의 결로점은 10.10℃이고 온도 및 습도는 -6.30℃와 69.50%였다. A동의 실내 공기는 온도 23.20℃, 습도 64.00%, 그리고 결로점은 16.80℃였으며 유리 창문의 1/4정도에 수분이 응축되었다. C동의 실내 공

기는 24.20℃, 54.70%, 결로점은 7.10℃였으며 아직 유리 창문에는 어떤 변화도 나타나지 않었다. 그러나 07시의 경우 실외 공기는 -6.00℃, 73.00%, 결로점은 9.60℃였고 A동의 유리 창문에는 전체면적의 1/2정도에 수분 응축이 나타났고 C동에서는 한뼘정도 크기의 수분 응축이 나타나기 시작하였다. 이 경우 A동과 C동 공기의 온도, 습도 및 결로점은 각각 23.60℃, 71.40%, 18.10℃ 그리고 24.30℃, 59.00%, 14.10℃ 였다.

좀 더 자세히 비교하기 위하여 새벽 온·습도 차이가 크게 나는 시간대만을 선택하여 비교한 결과는 <표 29>와 같다.

<표 29> 새벽 시간대에 있어서의 온도, 습도 및 결로점 변화

측정 요소	평균 온도(℃)	평균 습도(%)	평균 결로점(℃)
실외 공기	-5.58±0.67	70.45±2.93	9.87±0.36
A동 실내공기	23.67±0.01	62.53±4.61	16.07±1.13
C동 실내공기	24.21±0.01	54.82±2.10	14.62±0.68

이상의 결과를 미루어 볼 때 상대습도 56%, 결로점이 15℃정도에서 수분 응축이 일어나는 것으로 보인다. 또한 목탄 건축자재를 사용한 C동의 경우 동일한 조건에서 A동 보다 습도 상승도 느리고 수분 응결도 미미하였다. 즉 목탄 건축자재가 결로 현상 억제에 효과 있는 것으로 사료된다. 이러한 현상은 숯을 함유한 건축자재는 기존재료에 비교하여 흡습성이 높기 때문이다. 따라서 실내의 수분을 재료 내부로 확산시켜 표면에 수분이 응축하는 시간을 길게 해준다. 또한 그 수분의 일부를 내부로 분산시켜 건조와 응축이 반복되어질 동안 따뜻한 기온이 회복되면서 응축이 최소화 된다고 본다.

바. 목탄 건축물의 실내 공기질 평가

최근 '새집증후군(SHS : Sick House Syndrome)', '건물증후군(SBS : SickBuilding Syndrome)', 복합화학물질과민증(MCS : Multiple Chemical Sensitivity) 등은 우리도 모르게 불편을 겪고 있는 피로, 두통, 현기증, 집중력 감퇴 등과 같은 증상을 일컫는 말이다. 실내공기 오염은 그 원인과 영향이 다양하게 나타나기 때문에 실내공기질 관리가 중요하다.

본 연구에서 이와 같이 실내공기질에 대해 민감하게 되어 가고 있는 현실을 감안하여 유해가스를 흡착하기 위하여 목탄을 사용하여 건축자재를 제조하고 또한 이 목탄건축자재를 이용하여 건축한 실험동에 대해 실내공기질을 평가하였다.

1) 포름알데히드(HCHO) 제거 효과

가) 건축 자재의 종류에 따른 HCHO 흡착

(1) 숯 모르타르의 포름알데히드 흡착

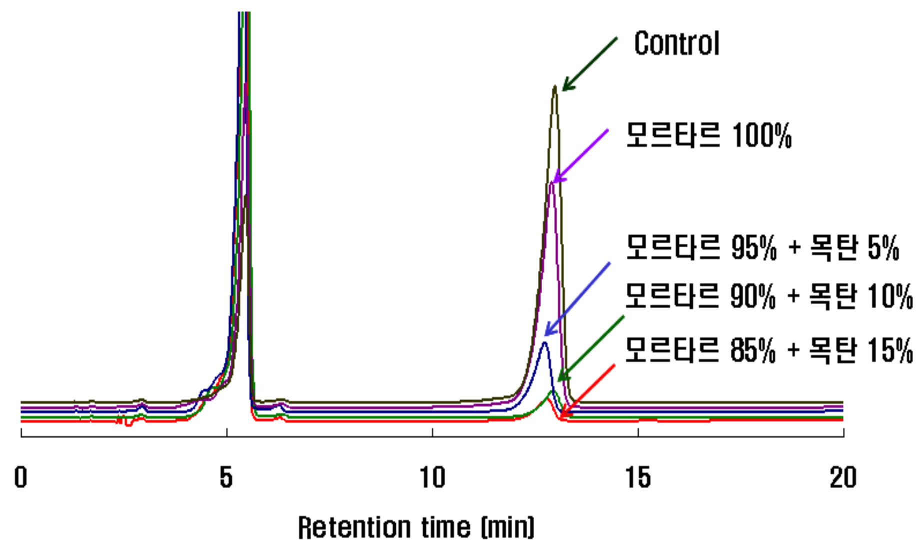
숯모르타르의 포름알데히드 흡착 실험결과, 모르타르 100%시료의 비하여 목탄을 함유한 모르타르 시료들의 흡착 능력이 우수하게 나타났다. <표 30>에서와 같이, 목탄 5%를 함유한 숯 모르타르시료의 단위중량 당 포름알데히드 흡착량은 목탄을 함유하지 않은 모르타르 100%시료보다 약3배 이상 높은 것을 알 수 있다. 목탄 함량 10% 시료와 15% 시료의 중량 당 포름알데히드 흡착량은 목탄 5%를 함유한 시료보다 높게 나타났으나 목탄의 증가비율에 비례하지는 않았다. 이러한 결과는, 초기농도라 할 수 있는 Control 상의 농도가 목탄 5%가 함유된 시료만으로도 대부분 흡착될 수 있는 양이기 때문에, 10% 이상의 목탄을 함유한 시료가 흡착 할 수 있는 포름알데히드절대양이 제한되어있다고 생각된다. 또한 <표 30>에서, 목탄 함량 10% 시료와 15% 시료 간의 중량 당 포름알데히드 흡착량이 유사하게 나타난 것도 같은 이유의 결과로 생각된다. 일반적으로 목탄 함량이 높으면, HCHO 흡착량이 조금 증가하나 숯 첨가량을 증가시키는 것은 재료의 가격상승 요인이 되므로, 생산 업자들은 꺼려하고 있다.

<표 30> 숯모르타르의 포름알데히드(HCHO) 흡착능력 평가

시료	흡착 후 HCHO 측정량(μg)*	HCHO 제거율 (%)	중량당 흡착량 (μg/g)
Control	8.40 ± 0.05	-	-
모르타르 100%	6.31 ± 0.50	24.82 ± 6.33	0.52 ± 0.14
모르타르 95%+목탄 5%	1.54 ± 0.22	81.61 ± 2.68	1.71 ± 0.07
모르타르 90%+목탄 10%	0.68 ± 0.10	91.93 ± 1.26	1.93 ± 0.04
모르타르 85%+목탄 15%	0.51 ± 0.07	93.97 ± 0.79	1.97 ± 0.01

* 3시간 흡착 후 측정

한편 <그림 38>에 나타난 바와 같이, HPLC 크로마토그램 상에서 모르타르 함량이 적을수록 또는 모르타르 중에 목탄의 함량이 높을수록 흡착 시험 후, 용기 내에서 발견되는 포름알데히드의 양이 감소되어 목탄에 의한 포름알데히드 흡착 효과가 매우 분명하게 나타나는 것을 알 수 있었다.



<그림 38> 잔류 HCHO (DNPH-Formaldehyde 유도체 형태)

(2) 목탄 액상 모르타르의 포름알데히드 흡착

목탄 액상 모르타르의 포름알데히드 흡착 실험결과는 숯모르타르의 결과와 유사하게 나타났다. 모르타르 100%시료에 비하여 목탄을 함유한 모르타르 시료들의 흡착 능력이 우수하게 나타났다. <표 31>에서와 같이, 목탄 15%를 함유한 목탄 액상 모르타르의 중량 당 포름알데히드 흡착량은 모르타르 100%시료보다 거의 3배정도 높은 것을 알 수 있었다. 목탄 함량 20% 및 25% 목탄 액상 모르타르와 15% 목탄 액상 모르타르의 중량 당 포름알데히드 흡착량은 목탄 15%를 함유한 목탄 액상 모르타르와 비슷하였다. 이러한 결과는, 초기농도라 할 수 있는 Control의 농도가 목탄 15%가 함유된 목탄 액상 모르타르만으로도 대부분 흡착될 수 있는 양이기 때문에, 목탄 함량이 더 높은 목탄 액상 모르타르에 있어서도 포름알데히드 흡착량이 비슷할 수밖에 없었다고 생각된다.

<표 31> 목탄 액상 모르타르의 포름알데히드(HCHO) 흡착능력 평가

시료	흡착후 HCHO 측정량(μg)*	HCHO 제거율 (%)	중량당흡착량 (μg/g)
Control	8.76 ± 0.23	-	-
액상모르타르 100%	5.86 ± 0.13	33.12 ± 0.79	0.58 ± 0.03
액상모르타르 85%+목탄 15%	0.62 ± 0.01	92.89 ± 0.03	1.63 ± 0.00
액상모르타르 80%+목탄 20%	0.58 ± 0.01	93.41 ± 0.05	1.64 ± 0.00
액상모르타르 75%+목탄 25%	0.62 ± 0.18	92.98 ± 1.01	1.63 ± 0.03

* 3시간 흡착 후 측정

(3) 바이오 숯 모르타르의 포름알데히드 흡착

바이오 숯모르타르의 포름알데히드 흡착 실험결과 또한 숯모르타르의 결과와 유사하게 나타났다. 모르타르 100%시료에 비하여 목탄을 함유한 바이오모르타르 시료들의 흡착 능력이 우수하게 나타났다. <표 32>에서와 같이, 목탄 5%를 함유한 바이오숯 모르타르시료의 중량 당 포름알데히드 흡착량은 목탄이 함유되어 있지 않은 바이오모르타르 100%시료보다 약 3배 이

상 높은 것을 알 수 있었다. 목탄 함량 10%인 바이오숯 모르타르와 15%인 바이오숯 모르타르의 중량 당 포름알데히드 흡착량은 목탄 5%를 함유한 시료보다 높게 나타났으나 목탄의 증가 비율에 비례하지는 않았다. 이러한 결과는, 초기농도라 할 수 있는 Control상의 농도가 목탄 10%가 함유된 시료만으로도 대부분 흡착될 수 있는 양이기 때문에, 그 이상의 목탄을 함유한 바이오 숯 모르타르라고 하더라도 포름알데히드 흡착량에는 크게 영향을 주지 못하였다고 생각되며, 또한 본 연구에서 사용한 친환경 건축자재인 숯모르타르, 목탄 액상모르타르 및 바이오 숯 모르타르에 있어서 중요한 구성재료인 목탄자체의 흡착능력과도 크게 관계있는 것으로 생각되나, 이를 밝히기 위해서는 더 심층적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

<표 32> 바이오 숯모르타르의 포름알데히드(HCHO) 흡착능력 평가

시료	흡착후 HCHO 측정량(μg)*	HCHO 제거율(%)	중량당흡착량 (μg/g)
Control	7.50	-	-
바이오숯모르타르 100%	5.67	24.40	0.46
바이오숯모르타르 95%+목탄 5%	1.47	80.40	1.51
바이오숯모르타르 90%+목탄 10%	0.24	96.80	1.82
바이오숯모르타르 85%+목탄 15%	0.27	94.27	1.81

* 3시간 흡착 후 측정

나) 실험동 실내 HCHO 제거

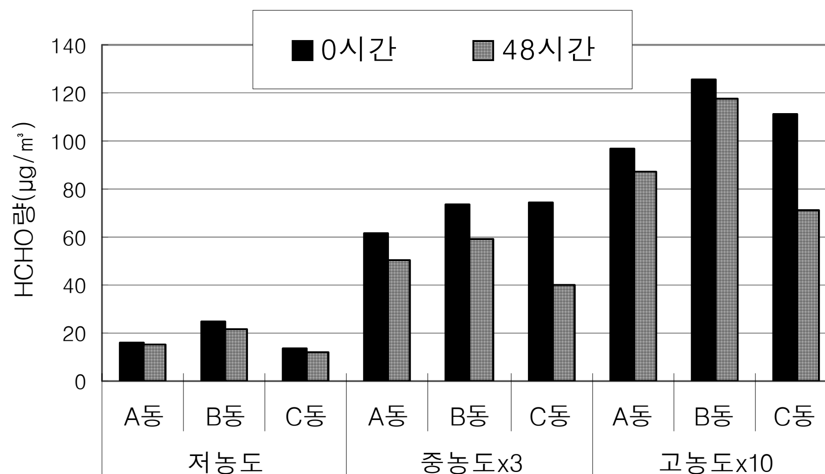
A, B 및 C동 실내에 VOCs 측정시와 마찬가지로 HCHO와 여러 가지 휘발성 물질을 함유한 물체들을 혼합, 잔존시킨 후 일정한 시간 후에 HCHO를 측정한 결과는 <그림 39>와 같다.

<그림 39>에서와 같이 B동 목탄건축자재로 처리된 실내에서 HCHO 방출량이 가장 높았다. 물론 HCHO 방출량은 22~25㎛/㎥로서 적은 량이지만 대조구인 기존 건물에서 12~14㎛/㎥을 방출한 것에 비교하면 의외의 결과였다.

한편 바이오숯으로 시설된 C동에서 HCHO 방출량이 가장 낮았다.

이러한 이유는 A, B 및 C동 모두에서 방출되는 HCHO량이 새집증후군으로 문제시되고 있는 주거에 비하여 너무 낮으므로 오차 범위내일 수도 있다는 가정하에 인공적으로 고농도의 HCHO량은 방사한 후 일정기간 후 HCHO 잔존량을 재측정할 필요가 있었다. 따라서 실내의 HCHO 농도를 높이면서 재측정을 실시하였다. 그러나 이 결과들도 3회 모두 동일한 경향을 나타내었다. 일정한 농도의 HCHO를 실내에 방출한 후 15분 이내에 측정한 결과는 기존 건축자재(A동)에서 목탄건축자재(B동, C동)에서 보다 HCHO가 낮았다. 그러나 48시간 후 측정한 결과는 HCHO의 잔존량은 물론 감소하였으나 그 경향은 저농도의 결과와 비슷하였다.

실험도의 결과는 실험실에서 원료 자재의 흡착력 결과와는 불일치하였다. 이런 결과는 실내에 HCHO 방출시에 여러 종류의 VOCs를 함께 넣어줄 경우 HCHO의 선택적 흡수에 영향을 줄 수도 있다고 본다. 추후에 실험동에 HCHO만 주입하고 48시간 후 HCHO 제거량을 측정할 필요가 있다고 본다.



<그림 39> 건축자재별 건물의 실내 HCHO의 경시적 변화

2) VOCs 제거 효과

가) 건축자재 종류에 따른 VOCs 흡착

(1) 숯 모르타르의 VOCs 흡착

(가) Toluene(T) 흡착

숯모르타르의 톨루엔 흡착 실험결과, 모르타르 100%시료의 비하여 목탄을 함유한 모르타르 시료들의 흡착 능력이 우수하게 나타났다. <표 33>에서와 같이, 목탄 5%를 함유한 숯 모르타르시료의 중량 당 톨루엔 흡착량은 모르타르 100%시료보다 약 2배 가량 높은 것을 알 수 있다. 목탄 함량 10%와 15% 시료는 각각 모르타르 100%시료 중량 당 흡착량의 약 3배와 4배를 나타냈다. 이러한 결과로 볼 때, 목탄의 함량 증가는 톨루엔 흡착량 증가에 비례할 것으로 예측된다.

<표 33> 숯모르타르의 Toluene(T) 흡착능력 평가

시료	흡착 후 T 측정량 (ng)[*]	T 제거율 (%)	중량당 흡착량 (ng/g)
Control	100.5	-	-
모르타르 100%	79.9	20.43	2.23
모르타르 95% +목탄 5%	73.9	26.43	5.10
모르타르 90% +목탄 10%	73.8	26.51	6.63
모르타르 85% +목탄 15%	68.8	31.55	7.89

* 3시간 흡착 후 측정

(나) Xylene(X) 흡착

숯모르타르의 자일엔 흡착 실험결과, 모르타르 100%시료에 비하여 목탄을 함유한 모르타르 시료들의 흡착 능력이 우수하게 나타났다. 위의 <표 34>에서와 같이, 목탄 5%를 함유한 숯 모르타르시료의 중량 당 자일렌 흡착량은 모르타르 100%시료보다 약 2배 가량 높은 것을 알 수 있다. 목탄 함량 10%와 15% 시료는 각각 모르타르 100%시료 중량 당 흡착량은

거의 3배로 나타났다. 위의 결과로 볼 때, 숯모르타르의 자일렌 흡착량은 톨루엔의 경우보다 높게 나타났으며, 모르타르 중의 목탄의 함량 증가는 흡착량 증가를 더욱 촉진하였다고 생각된다.

<표 34> 숯모르타르의 Xylene(X) 흡착능력 평가

시료	흡착 후 X 측정량(ng)*	X 제거율 (%)	중량당 흡착량 (ng/g)
Control	115.8	-	-
모르타르 100%	84.3	27.19	6.80
모르타르 95% +목탄 5%	64.2	44.14	11.14
모르타르 90% +목탄 10%	38.9	66.41	16.60
모르타르 85% +목탄 15%	29.4	74.63	18.66

* 3시간 흡착 후 측정

(다) Ethylbenzene(EB) 흡착

숯모르타르의 에틸벤젠 흡착 실험결과, 모르타르 100%시료에 비하여 목탄을 함유한 모르타르 시료들의 흡착 능력이 우수하게 나타났다. 위의 <표 35>에서와 같이, 목탄 5%를 함유한 숯 모르타르시료의 중량 당 자일렌 흡착량은 모르타르 100%시료보다 약 5배 가량 높은 것을 알 수 있다. 목탄 함량 10%와 15% 시료는 각각 모르타르 100%시료 중량 당 흡착량은 10배 이상으로 나타났다. 위의 결과로 볼 때, 숯모르타르의 에틸벤젠 흡착량은 톨루엔이나 자일렌의 경우보다 월등히 높게 나타났으며, 모르타르 중의 목탄의 함량이 증가하면 흡착량이 더욱 증가하였다.

<표 35> 숯모르타르의 Ethylbenzene(EB) 흡착능력 평가

시료	흡착 후 EB 측정량(ng)*	EB 제거율 (%)	중량당 흡착량 (ng/g)
Control	199.5	-	-
모르타르 100%	176.1	11.76	2.94
모르타르 95% +목탄 5%	116.4	41.68	10.42
모르타르 90% +목탄 10%	41.4	79.25	19.81
모르타르 85% +목탄 15%	17.9	91.04	22.76

* 3시간 흡착 후 측정

(라) 스티렌흡착

숯모르타르의 스티렌 흡착 실험결과는 <표 36>과 같이 모르타르 함량과 목탄함량에 의한 흡착성 차이는 다른 VOCs 물질인 톨루엔, 자일렌 및 에틸벤젠의 결과에서와는 달리 일정한 경향이 나타나지 않았는데 이는 스티렌의 분자크기 또는 물리화학적 성질이 다른 물질과 미묘하게 다른데 원인이 있다고 생각되나 추후 보다 심층적인 연구가 필요하다고 생각된다.

<표 36> 숯모르타르의 스티렌 흡착능력 평가

시료	흡착 후 S 측정량 (ng)*	S 제거율 (%)	중량당 흡착량 (ng/g)
Control	9.5	-	-
모르타르 100%	9.0	5.17	0.12
모르타르 95% +목탄 5%	N/A	-	-
모르타르 90% +목탄 10%	8.5	10.73	0.25
모르타르 85% +목탄 15%	8.4	11.41	0.27

* 3시간 흡착 후 측정

(2) 목탄 액상 모르타르의 VOCs 흡착

액상 모르타르의 VOCs의 흡착능은 <표 37>과 같다.

<표 37> 목탄 액상 모르타르의 VOCs 흡착능력 평가

		Control	목탄액상 모르타르 85% + 목탄 15%
Toluene	흡착 후 측정량(ng)	398.2	347.7
	제거율(%)	-	12.7
	중량당 흡착량(ng/g)	-	3.16
Xylene	흡착 후 측정량(ng)	144.2	57.7
	제거율(%)	-	59.7
	중량당 흡착량(ng/g)	-	14.9
Ethyl benzene	흡착 후 측정량(ng)	206.7	88.1
	제거율(%)	-	57.4
	중량당 흡착량(ng/g)	-	14.4
Styrene	흡착 후 측정량(ng)	162.8	24.6
	제거율(%)	-	84.2
	중량당 흡착량(ng/g)	-	34.6

* 3시간 흡착 후 측정

목탄 액상 모르타르는 가장 많이 생산되고 있는 목탄 15%와 액상 모르타르가 85% 혼합된 것을 선택하여 VOCs의 변화를 측정하였다. 일반적으로 톨루엔의 흡착율(12.7%)과 흡착량(3.16ng/g)이 저조하고, 스틸렌의 경우 제거율이 84.2%(흡착량: 34.6ng/g)로서 가장 많이 흡착, 제거되었다. 자일렌과 에틸벤젠은 제거율이 60% 이하였다.

(3) 바이오 숯 모르타르의 VOCs 흡착

바이오 숯 모르타르 VOCs 흡착능은 <표 38>과 같다.

바이오 숯 모르타르 중에서 현재 생산되어 이용되고 있는 바이오 모르타르 95%와 숯 5%가 혼합된 것을 선택하여 VOCs 흡착능을 측정하였다.

바이오 숯 모르타르는 목탄 액상 모르타르 보다 VOCs 흡착능이 우수하였다. 톨루엔도 제거율이 85.9%(흡착량: 25.5ng/g)가 되고 자일렌, 에틸벤젠 및 스틸렌 모두 68~82%의 흡착능을 보였다.

<표 38> 바이오 숯 모르타르의 VOCs 흡착능력 평가

		Control	바이오 숯 모르타르 95% + 목탄 5%
Toluene	흡착 후 측정량(ng)	625.9	88.4
	제거율(%)	-	85.9
	중량당 흡착량(ng/g)	-	25.5
Xylene	흡착 후 측정량(ng)	180.5	57.2
	제거율(%)	-	68.3
	중량당 흡착량(ng/g)	-	17.1
Ethyl benzene	흡착 후 측정량(ng)	187.5	32.7
	제거율(%)	-	82.6
	중량당 흡착량(ng/g)	-	20.6
Styrene	흡착 후 측정량(ng)	68.5	20.2
	제거율(%)	-	70.4
	중량당 흡착량(ng/g)	-	12.1

* 3시간 흡착 후 측정

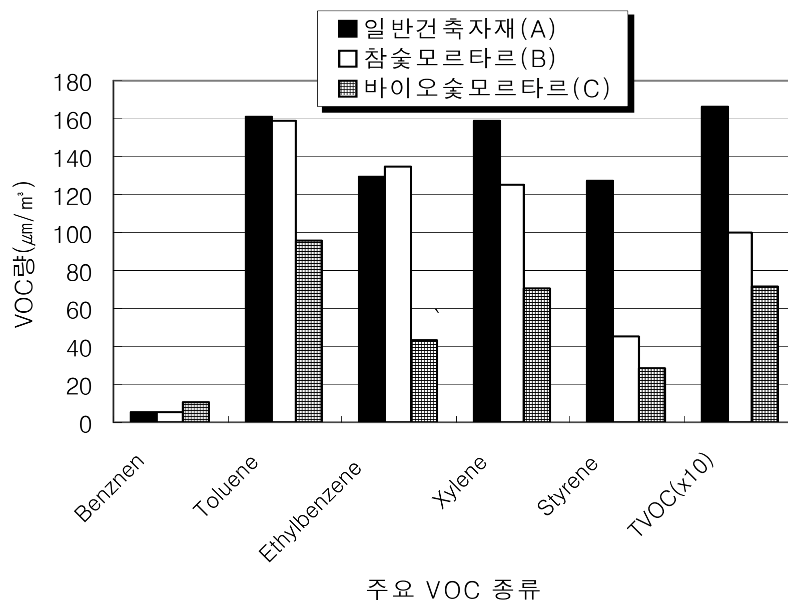
나) 실험동 실내 VOCs 제거

실내공기질 관리법에 규정하고 있는 VOC물질인 BTEXS (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene, Styrene)를 각 실험동 별로 산업기술연구소에 의뢰하여 측정하였다. 또한 토탈VOC(TVOC)도 병행하여 측정, 계산한 함량은 <표 39>과 같다.

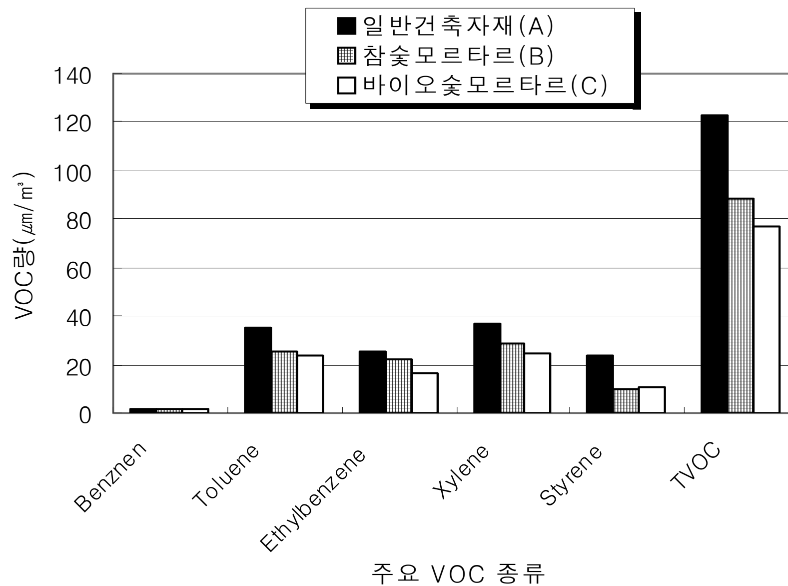
<표 39> 실험동별 VOC 물질의 경시적 변화

VOC 종류	실험동별 검출량(㎍/㎥)					
	일반건축자재		참숯 모르타르		바이오 숯 모르타르	
	0시간	48시간	0시간	48시간	0시간	48시간
Benzene	1.570	1.493	1.197	1.400	1.013	1.243
Toluene	67.247	35.047	56.033	25.727	36.403	23.833
Ethylbenzene	69.880	26.580	51.773	22.363	41.403	16.470
m,p-Xylene	51.117	20.167	33.387	15.357	27.167	12.327
o-Xylene	55.570	16.637	37.243	13.270	34.710	11.947
Styrene	46.883	23.630	13.983	10.057	15.090	11.023

<표 39>과 <그림 40, 41>과 같이 모든 실험동에서 48시간 후에 유해물질량이 현저히 감소되는 경향을 나타내었다. 절대량으로 보면 유해물질의 종류에 따라 다소 차이는 있지만, 바이오 숯 모르타르를 사용한 실험동의 검출량이 가장 적고, 그 다음이 참숯 모르타르를 사용한 실험동으로 대조구로 사용한 일반건축자재를 사용한 실험동이 가장 많은 검출량을 나타내었다. 이러한 결과로부터 참숯 모르타르나 바이오 숯 모르타르 자재가 유해물질을 흡착하는 데 효과가 있다는 것을 나타낸다고 본다. 다만, 장판 등에 의해 이들 재료가 막혀 있는 상황에서는 흡착이 방해를 받아 이러한 경향이 매우 서서히 진행될 것으로 추측된다.



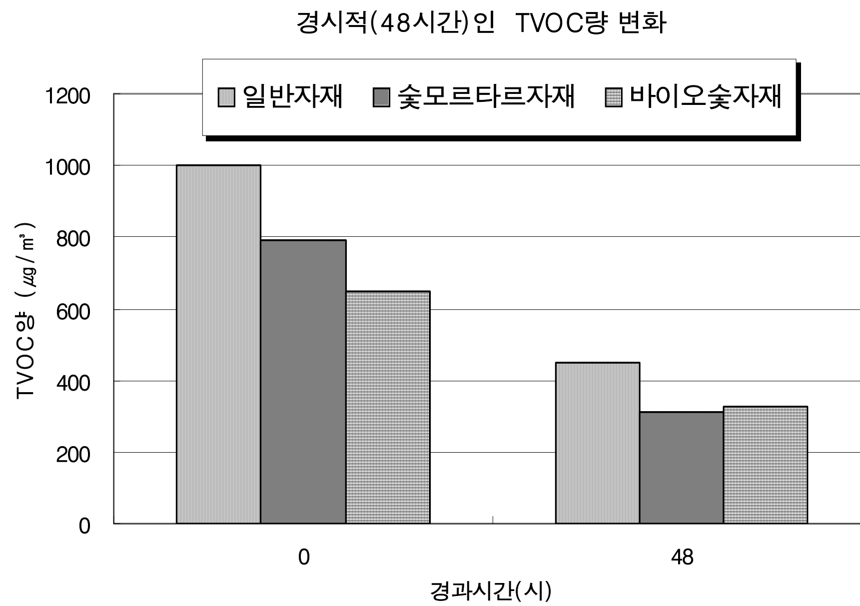
<그림 40> 건축자재의 종류에 따른 실내 VOCs 량(고농도)



<그림 41> 건축자재의 종류에 따른 실내 VOCs 량(저농도)

(2) 실험동별 실내 TVOC량

한편 상기의 규제대상이 되는 BTEXS 물질과 그 외의 기타 VOC를 포함하는 토탈VOC(TVOC)량은 <그림 42>와 같다. 즉 48시간 경과 후의 검출량이 참숯 모르타르를 사용한 실험동에서 가장 적게 나타났으나, 바이오 숯 모르타르 자재를 사용한 실험동에서도 유해물질 발생량이 많았던 것을 감안하면 유해물질 흡착제거 효과는 오히려 더 크지 않었나하는 추정이 된다. 이러한 결과를 종합하면 본 실험에 사용한 참숯 모르타르 자재나 바이오 숯 모르타르 자재가 모든 VOC물질을 흡착 제거시킬 수 있는 능력이 있으므로 이들이 실내공기질 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.



<그림 42> 건축자재별 건물의 실내 TVOC의 경시적 변화

사. 목탄 생산량, 목탄 건축 자재 및 경제성 분석

1) 목탄 생산량 및 목탄 건축 자재

목탄(숯)의 원료가 되는 참나무의 산림 면적은 2002년도 기준 1,693천ha로서 전체 산림면적 6,412천ha의 26%이다. 참나무의 축적은 81,921천m3이며 목탄생산에 사용가능한 III영급 이상의 참나무 축적은 61,009천m3 로서 전체 참나무 축적의 74.5%에 달한다.

참나무는 2003년도 기준 309,152m3가 이용되었으며 그 중에서 표고자목으로 200,586m3(64.9%) 펄프용으로 51,038m3(16.5%) 목탄, 목초액 생산에 17,293m3(5.6%), 그리고 연료로 8,999m3 (2.9%)가 사용되었다. 또한 농기구, 건축, 가구, 토목, 목공예용 및 포장재로 5,120m3(1.6%) 그리고 기타 용도로 26,116m3(8.5%)가 이용되었다. 참나무의 축적은 조림증가율과 임분축적증가율을 고려하면 계속 증가될 것으로 예측된다. 또한 참나무 수요도 증가할 것으로 예상된다.

목탄 생산량을 조사하는데는 어려움이 많았다. 생산공장도 여러곳에 산재하였고 그 자체 통계도 부족한 점이 있었다. 목탄 생산량은 <표 40>과 같다.

<표 40> 목탄 생산량

년도	목탄(m/t)	목초액(m/t)
2000	32,706	--
2001	22,555	--
2002	14,050	--
2003	16,841	5938

<표 40>에서 2000~2002년까지의 목탄 생산량은 정부 발표 산림청 통계에 근거한 것이며 2003년도의 결과는 한국 탄화물협회에서 서면으로 조사한 결과이다.

2003년에 16,841t의 목탄이 제조되었고 목초액도 5,938t 생산되었다. 과거에는 흑탄을 주로 생산하였으나 근년에 들어서는 백탄의 효용성이 더 크게 부각되면서 백탄생산량이 현저히 증가하고 있다. 참나무 가격은 t당 70,000원 정도이며 생산된 백탄은 5,000~7,000월/kg에 시판되고 있다. 목탄 생산업체는 <표 41>와 같다.

<표 41> 목탄 생산업체

시도별	계	기계식	전통식	응용식	대나무	수입·정제
계	95	7	79	3	4	2
광주광역시	1				1	
경기	12	1	9	1		1
강원	27	2	25			
충북	15		15			
충남	3		2	1		
전북	2		2			
전남	3	1	1		1	
경북	20	2	18			
경남	11		7	1	2	1
제주	1	1				

<표 41>에서 보는 바와 같이 가마형태는 대부분이 전통식이며 가마는 강원도에 가장 많다. 그 다음으로 경북과 충북으로 산이 깊을수록 목탄공장이 많이 위치하고 있다.

목탄은 오래전부터 건축분야에 이용되어 왔다. 즉 매탄이나 상하조습용으로 건강주택에 사용되었다. 집이나 건물예정지에 1m전후의 구덩이를 파고 약 0.5~1.0t의 목탄을 묻거나 또는 마루 밑에 목탄을 깔아 놓든지 혹은 목탄을 망(부직포)에 널어 보관함으로써 습한 곳의 수분을 조절해주고 냄새도 제거해주며 곤충발생도 억제하는 친환경 주택을 축조하였다.

최근 들어 목탄의 습도 조절, 유해물질흡착, 냄새 제거, 항균효과 등의 여러가지 특성이 구명되면서 목탄을 이용한 친환경 건축자재들이 연구 또는 시판

되고 있다. 친환경 건축자재로는 숯페인트, 숯초배지, 숯판넬, 숯바닥제, 숯천정, 숯장판 등이 있다. 특히 2005년 5월부터 시행되는 공기질관개념에 따라 숯페인트는 각광을 받고 있다. 그러나 이들 목탄 건축자재의 통계적 수치를 조사하는 것은 거의 불가능하였다. 생산 공장들은 소규모이고 여러 곳에 산재해 있다. 생산 및 판매가격도 유동적이며 가변적이다. 현재 여러 아파트 건축 현장에서 옵션으로 적용되고 있다. 참숯 페인트(액상 참숯) 20L에 약 40만원 정도하며 30평 아파트 내부를 도색할 수 있다. 참 숯 초배지로 30평 아파트를 도배할 경우에도 약 15만원 정도의 비용이 요구된다.

2) 경제성 분석

가) 시공비용

(1) 각종 건축자재 비용

<표 42>에서와 같이 본 연구에서 제조한 목탄건축자재의 단가는 유사종의 가격에 비하여 저렴한 편이다. 일반시멘트, 경량기포콘크리트 등의 정부구입가격과 현장가격, 특히 소규모 주택 건설에서는 차이가 있었다. 조사한 바에 따르면 경량기포콘크리트의 한국물가정보가격은 3,000원/㎡(두께 40㎜)이지만, 아파트 공사에서는 인건비 포함 10,000원, 그리고 단독주택 건축시에는 15,000원이 일반적이었다.

<표 42> 각종 건축자재의 가격 비교

품 명	단 위	가 격(원)	비 고
일반시멘트	40kg(포)	3,500	한국물가정보
건조모르타르	40kg(포)	2,500	〃
경량기포콘크리트	㎡(40㎜두께)	3,000	〃
석고보드	9.5T×900×2,400	4,600	〃
스티로폼	900×1,800×30(0.03)	3,900	〃
광촉매	㎡도포	2,385	〃
액상참숯	㎡	10,600	〃
바이오세라믹	㎡	10,600	〃
바이오친환경 페인트(수성)	16~18ℓ	42,000~90,000	〃
천연페인트	10ℓ	10,000~120,000	〃
목탄액상모르타르	㎡	8,000	납품가
숯모르타르	40kg	22,000	〃
바이오숯모르타르	40kg	26,000	〃
참숯자갈	20kg	23,000	〃

(2) 목탄건축자재 이용 건축의 비용

<표 43, 44>는 목탄건축자재(목탄액상모르타르, 숯모르타르, 바이오숯모르타르, 숯자갈)을 사용할 경우와 기존 시멘트 자재를 사용한 경우의 단위면적과 루베 당 가격을 나타내고 있다.

<표 43> 목탄 액상 모르타르로 시공할 경우 비용 (30평)

단위: 원

품목	단위	수량	재료비		노무비		경비		이윤		합계	
			단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	㎡단가	금액
목탄액상몰탈 (해피홈)	㎡	270	4,400	1,188,000	4,290	1,158,300	460	124,200	1,033	278,910	10,183	2,749,410
바탕만들기	㎡	270	184	49,680	1,188	320,760					1,372	370,440
커버링	㎡	270	60	16,200	285	76,950					345	93,150
소계			4,644	1,253,880	5,763	1,556,010	460	124,200	1,033	278,910		
합계											11,900	3,213,000

<표 44> 시멘트, 숯모르타르, 바비오숯모르타르 및 숯자갈로 시공할 경우 비용 비교

구분	단위	시멘트 현장 배합시			숯모르타르			바이오숯모르타르			참숯자갈		
		수량	단가	금액	수량	단가	금액	수량	단가	금액	수량	단가	금액
<자재비>													
시멘트	포	12.75	4,500	57,375	-	-	-	-	-	-	-	-	-
모래	㎥	1.10	45,000	45,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
숯모르타르	포	-	-	-	37	16,000	592,000	-	-	-	-	-	-
바이오숯모르타르	포	-	-	-	-	-	-	37	22,000	814,000	-	-	-
참숯자갈	포	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	23,000	943,000
소계(1)				102,375			592,000			814,000			943,000
<인건비>													
시공(내벽 18㎜)													
시공(미장공)	인	4.44	120,000	532,800	3.89	120,000	466,800	3.89	120,000	466,800	-	-	-
건비빔(조공)	인	2.35	70,000	164,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
소운반(조공)	인	1.0	60,000	60,000	1.0	60,000	60,000	1.0	60,000	60,000	0.2	60,000	12,000
소계(2)				757,300			526,800			526,800			12,000
합계(1)+(2)		₩859,675			₩1,118,800			₩1,340,800			₩955,000		
※자재비중 Loss를 감안하면													
시멘트(10%)	포	1.275	4,500	5,775	-	-	-	-	-	-	-	-	-
모래(15%)	㎥	0.165	45,000	7,425	-	-	-	-	-	-	-	-	-
숯모르타르(2%)	포	-	-	-	0.74	16,000	11,840	-	-	-	-	-	-
바이오숯모르타르	포	-	-	-	-	-	-	0.74	22,000	16,280	-	-	-
참숯자갈	포	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
소계(3)				13,200			11,840			16,280			0
합계(1)+(2)+(3)		₩872,875/㎡			₩1,130,640/㎡			₩1,357,080/㎡			₩955,000/㎡		
시멘트 비교		-			△₩257,765/㎡			△₩484,205/㎡			△₩82,125/㎡		

<표 45, 46>에서는 <표 43, 44>를 근거로 하여 연구동과 30평 주택 또는 아파트의 실제 시공비용을 산출하였다.

<표 45> 실험동의 목탄건축자재를 이용한 건축 비용 비교

	A 동	B 동	C 동
벽[1]과 천 정	-	1.목탄액상모르타르: 280,000원 (30.18㎡)	1.목탄액상모르타르: 280,000원 (30.18㎡)
방바닥[2]	1.시멘트: 273,733원 (3.136㎡×0.04m) 2.경량기포콘크리트: 47,040원 (3.136㎡×15,000원)	1.참숯자갈(40㎜): 299,488원 (3.136㎡×0.04m) 2.숯모르타르(40㎜): 354,568원 (3.136㎡×0.04m)	1.참숯자갈(40㎜): 299,488원 (3.136㎡×0.04m) 2.바이오숯모르타르 (40㎜): 425,580원 (3.136㎡×0.04m)
계	323,000원	934,000원	1,005,000원

(천이하 절삭)

1) 연구동 숯액상모르타르 수요 면적 (총계: 30.18㎡)
- 벽 2,800㎜ × 2,300㎜ × 2면 = 12.88㎡
  2,800㎜ × 2,300㎜ - 900㎜ × 1,800㎜(창문) = 4.64㎡
  2,800㎜ × 2,300㎜ - 1,500㎜ × 1,200㎜(창문) = 4.82㎡
- 천정 2,800㎜ × 2,800㎜ = 7.84㎡

2) 연구동 바닥 면적 2,800㎜ × 2,800㎜ = 7.84㎡

<표 46> 실제 시공비(30평[1] 기준) 비교

		A 형	B 형	C 형
벽[2]과 천 정[3]		-	1.목탄액상모르타르: 3,213,000원	1.목탄액상모르타르: 3,213,000원
바닥	아파트	1.경량기포콘크리트 (40㎜): 972,000원 (79.2㎡×10,000원) 2.단열재(30㎜): 195,000원 (3,900원×50장) 3.시멘트(40㎜): 2,765,195원 (79.2㎡×0.04m)	1.경량기포콘크리트 (40㎜): 792,000원 (79.2㎡×10,000원) 2.숯모르타르(20㎜): 1,790,933원 (79.2㎡×0.02m) 3.참숯자갈(20㎜): 1,512,720원 (79.2㎡×0.02m)	1.경량기포콘크리트 (40㎜): 792,000원 (79.2㎡×10,000원) 2.바이오숯모르타르 (20㎜):2,149,614원 (79.2㎡×0.02m) 3.참숯자갈(20㎜): 1,512,700원 (79.2㎡×0.02m)
	단독주택	1.경량기포콘크리트 (40㎜): 1,188,000원 (79.2㎡×15,000) 2.단열재(30㎜): 195,000원 (3,900원×50장) 3.시멘트(40㎜): 2,765,195원 (79.2㎡×0.04m)	1.단열재(30㎜): 193,050원 (79.2㎡÷1.6 ×3,900원) 2.숯모르타르(20㎜): 1,790,933원 (79.2㎡×0.02m) 3.참숯자갈(20㎜): 1,512,720원 (79.2㎡×0.02m)	1.단열재(30㎜): 193,050원 (79.2㎡÷1.6 ×3,900원) 2.바이오숯모르타르 (20㎜): 2,149,614원 (79.2㎡×0.02m) 3.참숯자갈(20㎜): 1,512,720원 (79.2㎡×0.02m)
계	아파트	3,752,000원	4,095,000원 7,308,000원	4,454,000원 7,667,000원
	주택	4,148,000원	3,498,000원 6,711,000원	3,857,000원 7,070,000원

(천이하 절삭)

1) 30평형: 실제 기준평수는 24~25평임.
2) 벽과 천장 면적: 30평 × 3.5(인자) × 3.3(㎡환산수치): 346.5㎡
※ 인자 3.5는 5면(4면의 벽과 천정) 중에서 화장실, 현관, 창문, 유리 구조물 등을 제외한 평균 면수이다.(현장에서 사용)
3) 방바닥 면적: 24평 × 3.3㎡ = 79.2㎡
4) 시공 비용:

시멘트/모르타르	872,875원/㎥
숯 모르타르	1,130,640원/㎥
바이오숯모르타르	1,357,080원/㎥
숯자갈	955,000원/㎥
목탄액상모르타르	3,213,000원/30평

(3) 기름 구입비

기름 소비량은 보일러의 성능, 목표온도, 가동조건, 환경조건에 따라서 차이가 있다. 본 연구에서는 11월부터 4월까지의 기름소비량을 근거로 하여 계산하였다.

본 실험에서 사용한 보일러는 15,000 kcal/hr 였으며, 단열이 잘된 주택은 500 kcal/hr, 그리고 단열이 부족한 곳에서는 550 kcal/hr 사용을 기준으로 하였다.

따라서 기름소비량은,

0.5 gal x 3.7852 = 1.8926 ℓ/hr

1.8926 x 8/7 = 2.16297 x k(레인상수) = 2.01 ℓ/hr

2.01 x 120일 x 8hr = 1,929 ℓ

1,929 ℓ x 960,89원 = 1,853,566원/년

※ 등유 1ℓ = 960,89원 (2006년 7.3~7.11)

(4) 시공비용과 기름절감량에 따른 수익 비교

이상의 내용에 근거하여 기존 시멘트 자재와 목탄건축자재로 시공할 경우 비용 차이를 계산하면 <표 47, 48>과 같다.

<표 47> 시공 가격 비교 (실험동)

(천원)

시공부위	A동	B동	C동
벽/천정	-	280	280
벽/천정/바닥	320	943	1,005

<표 48> 시공 가격 비교 (30평 아파트와 주택)

(천원)

시공부위	건물	A동	B동	C동
벽/천정	아파트	-	3,213	3,213
	주택	-	3,213	3,213
방	아파트	3,752	4,095	4,454
			△343	△291
	주택	4,148	3,498	3,857
			▽649	▽291
벽/천정/아파트	아파트	3,752	7,308	7,667
			△3,556	△3,915
	주택	4,148	6,711	7,070
			△2,563	△2,922

목탄건축자재를 사용할 경우 기름을 절약할 수 있다. 그 절감비는 <표 49>과 같다.

<표 49> 기름 구입 비용(실험동-실면적 7.84㎡)

	절감율(%)	년간 비용(원)	년간 절감액(원)
A동	0	176,000	0
B동	9.4%	159,000	16,500
C동	15.1%	149,000	26,500

<표 50> 기름 구입 비용(30평-실면적 79.2㎡)

	절감율(%)	년간 비용(원)	년간 절감액(원)
A동	0	1,853,000	0
B동	9.4%	1,689,000	174,000
C동	15.1%	1,574,000	279,000

30평 규모의 아파트나 주택을 기준으로 하여 경제성을 평가하면 다음과 같다.

(경우 1) 벽/천정만 목탄 액상 모르타르로 시공

이 경우 기존 시멘트 시공과 비교할 수 없으며, 유사종의 액상참숯, 바이오세라믹, 바비오친환경 페인트(수성), 및 천연 페인트로 시공할 경우와 비교해야한다. 그러나 후자들의 시공비용 단가가 없으므로 여기서는 비교 할 수 없다.

(경우 2) 방바닥만 시공할 경우

<표 48, 49>을 보면, 아파트의 경우는 기존건축물보다 291,000 ~ 343,000원 비싸다. 이 비용은 기름절감비용으로 2년 이내에 상쇄할 수 있는 비용이다. 한편 주택의 경우는 오히려 목탄건축자재 사용시에 기존건축물보다 저렴하다. 물론 이 경우 아파트나 주택 모두 방바닥을 숯모르타르 20㎜, 그리고 참숯자갈 20㎜로 시공하기 때문이다.

(경우 3) 벽/천정과 방바닥 동시에 시공할 경우

이 경우는 <표 48>에서와 같이 시공차감액이 B동이 2,563,000원, C동이 2,922,000원 이며, 기름절감비용은 <표 50>에서와 같이 B동이 년간 174,000원, C동이 279,000원 이었다.

이들 결과로 할인율(5%)을 고려한 순현재가치법(NPV)으로 계산할 경우 <표 51>에서와 같이 B동은 28년, 그리고 C동은 16년이 되어야 차후 수익이 예견된다. 아파트의 경우는 주택보다도 더 이상의 년수가 요구된다.

물론 이들 평가에서는 목탄건축자재에 의한 공기질 개선, 그리고 이에 따른 인간의 건강은 전혀 고려하지 않는 것이다.

<표 51> B동과 C동의 순현재가치법 계산

년차	B동		C동	
	년간 편익의 현재가치(1)	해당년까지의 (1)의 합	년간 편익의 현재가치(2)	해당년까지의 (2)의 합
1	165,714	165,714	265,714	265,714
2	157,823	323,537	253,061	518,776
3	150,308	473,845	241,011	759,786
4	143,150	616,995	229,534	989,320
5	136,334	753,329	218,604	1,207,924
6	129,841	883,170	208,194	1,416,118
7	123,659	1,006,829	198,280	1,614,398
8	117,770	1,124,599	188,838	1,803,236
9	112,162	1,236,761	179,846	1,983,082
10	106,821	1,343,582	171,282	2,154,364
11	101,734	1,445,316	163,126	2,317,490
12	96,890	1,542,206	155,358	2,472,847
13	92,276	1,634,482	147,960	2,620,807
14	87,882	1,722,364	140,914	2,761,721
15	83,697	1,806,060	134,204	2,895,925
16	79,711	1,885,772	127,813	3,023,738
17	75,916	1,961,688	121,727	3,145,464
18	72,301	2,033,988	115,930	3,261,395
19	68,858	2,102,846	110,410	3,371,805
20	65,579	2,168,425	105,152	3,476,957
21	62,456	2,230,881	100,145	3,577,102
22	59,482	2,290,362	95,376	3,672,478
23	56,649	2,347,012	90,834	3,763,312
24	53,952	2,400,964	86,509	3,849,821
25	51,383	2,452,346	82,389	3,932,211
26	48,936	2,501,282	78,466	4,010,677
27	46,606	2,547,888	74,730	4,085,406
28	44,386	2,592,274	71,171	4,156,578

1) B동의 초기 투자비용 2,563,000원
년간 편익 174,000원
2) C동의 초기 투자비용 2,992,000원
년간 편익 279,000원
3) 할인율은 년간 5%

4. 결론

1. 액상 모르타르에 숯을 15%와 30% 첨가하였을 경우 주도는 각 각 71, 82를 나타내어 품질기준인 82~110에 부적합하였으나, 20%, 25% 첨가구에서는 기준치에 적합하였다.

액상모르타르의 불휘발분은 숯 20% 이상 첨가구에서 기준치에 적합하였으며, 15% 첨가구는 기준치에 미달하였다. 또한 숯 첨가량을 증가시킬수록 건조시간은 지연되었으나, 모든 처리구에서 품질기준인 60분 이내 에서 건조가 완료되었다.

액상모르타르의 광택은 숯 첨가량에 상관없이 모든 첨가구에서 품질기준인 10ku 이하의 수치를 나타내어 적합하였으며, 은폐율은 숯 첨가량에 관계없이 은폐율 0.96(품질기준 0.92 이상)으로 적합하였다. 또한 모든 숯 첨가구에서 내세척성, 냉동안정성, 용기 내에서의 상태, 내알칼리성 및 저장안정성에 이상이 없는 것으로 나타났다.

2. 참숯 모르타르의 7일과 28일째 압축강도는 5% 숯 첨가구에서 21.7N/㎟, 31.1N/㎟로 가장 우수하였으며, 숯 15% 첨가까지는 KS기준을 상회하였으나, 숯을 20% 이상 첨가한 경우에는 기준치에 미달하였다.

숯을 첨가하지 않은 미첨가구의 경우 68%의 보수성을 나타낸 반면, 숯을 5% 첨가함에 따라 76%를 나타냈으며, 숯 첨가량 증가로 보수성이 지속적으로 증가하였다.

탈취율은 120분경과 후 일반시멘트 모르타르에서는 59.5%, 숯 첨가 모르타르은 71.6%로 약 12.1%의 탈취율 차이를 나타내었다.

3. 목탄 건축자재를 사용할 경우 보일러 기름을 절감시킬 수 있다. 기름소비량은 일반건축 자재를 사용한 실험동(A동)에서는 겨울철 3개월 간 평균 113.49ℓ/월 (3.78ℓ/일), 참숯 모르타르(B동)를 사용한 실험동에서는 102.69ℓ /월(3.42ℓ/일), 바이오 숯 모르타르를 사용한 실험동(C동)에서는 963.4ℓ/월 (3.21ℓ/일)를 나타내었다. 따라서 목탄건축자재를 사용할 경우 일반 건물에 비하여 바이오숯 모르타르를 사용한 실험동에서는 약 15.1% 그리고 참숯 모르타르에서는 약 9.5%의 에너지 절감효과가 나타났다.

주간에는 A동 약 55ℓ, B동 약 50ℓ, C동은 약47ℓ로, B동에서 약 9.1%, C동에서는 약 14.5% 절감효과를 보였으며, 야간에는 A동 53ℓ, B동 약 48ℓ, C동은 약45ℓ로, B동에서 약 9.4%, C동에서는 약 15.1% 절감효과를 보였다. 주야간을 종합하면 바이오 숯 모르타르 건축자재를 사용한 C동의 기름절감 효과가 가장 컸다.

4. 목탄 건축자재를 사용하므로 축열 효과를 얻을 수 있다(25℃에서 20℃로 낮추는데 필요한 시간으로 비교). 주간에 있어서 일반건축자재를 사용한 실험동(190분)에 비해 숯 모르타르를 사용한 실험동(445분) 또는 바이오 숯 모르타르 실험동(345분)의 실내온도 저하가 늦어지는 경향이 있어 축열효과가 인정되며, 바닥면에 있어서는 공중에 비해 온도저하 정도가 각 동에 대한 축열효과가 보다 명확하였다.

야간의 경우 주간에서와 마찬가지로 일반건축자재를 사용한 실험동 A보다는 B 실험동이 온도변화로 조사한 축열효과가 큰 것으로 나타났다. C 실험동은 일반건축자재를 사용한 실험동과 야간에는 축열성능에 있어서는 크게 다르지 않은 것으로 나타났다.

5. 참숯 모르타르를 사용한 방바닥(B동)의 경량충격음은 기준판에 비하여 23dB, 그리고 일반건축자재를 사용한 방바닥(A동)에 비해서는 14dB 그리고 바닥충격저감단층재를 사용한 경우 보다도 6~7dB 차음 효과가 있다. 현재 조

건(150㎜ 스래브)에서도 성능등급기준 3급에 해당된다.

6. 일반건축자재를 이용한 건물(A동)의 경우 결로현상은 평균습도 65% 그리고 결로점 16℃에서 나타났으나(당시 외부기온 -6.3℃, 실내온도 24℃) 목탄건축자재를 사용한 경우 표면에 수분이 응축되는 시간이 현저히 연장되었으며 응축도 최소화되었다.

7. 목탄건축자재에서 숯 함량이 높을수록 HCHO 흡착률이 높다. 숯모르타르는 숯이 10% 함유될 경우 HCHO 제거율은 91.93%(흡착량: 1.93㎍/g), 그리고 숯 10%가 첨가된 바이오 숯 모르타르는 96.80%(흡착량: 1.82㎍/g)의 HCHO 제거율을 나타내었다.

실험동에서 HCHO 제거효과는 3종류의 농도에서 실시하였으나, 거의 동일한 경향을 나타내었다. 실내에 HCHO를 방출시킨 15분내에서는 목탄건축물동(B, C동)에서 오히려 HCHO 농도가 높았다. 48시간 후에는 바이오숯모르타르로 시공한 C동에서 HCHO 잔존량이 가장 낮았다. 그러나 B동은 A동보다 높은 HCHO 농도를 유지하고 있었다. 이런 현상은 숯모르타르 제조시 여러종류의 광물질 첨가에 영향이 있는 것으로 사료된다.

8. 목탄건축자재에 의한 BTEXS와 TVOC 제거 효과를 측정하였다. 목탄건축자재에 숯함량이 높을수록 VOCs의 흡착, 제거효과가 증가한다. 그러나 목탄건축자재의 종류 및 VOCs의 성분 종류에 따라 흡착 차이가 있다. 숯모르타르의 경우 VOCs 흡착수력이 가장 높다. VOCs 중에서는 xylene과 styrene 흡착이 우수하고, toluene과 ethylbenzene은 흡착이 미약하거나 효과가 없는 경우도 있다.

실험동에서 VOCs 및 TVOC 제거효과는 뚜렷하게 높다. 저농도 및 고농도 실험에서 동일한 경향의 제거효과를 나타내었다. 동일 농도의 VOCs를 첨가해주고, 48시간 후 측정한 결과, 일반 건축자재동(A동)은 고농도/저농도일 경우 각

각 1660.1㎍/122.5㎍ 였다. 그러나 바이오 숯 모르타르(C동) 시공에서 VOCs 제거 효과가 가장 높으며(714.9㎍/76.9㎍), 숯모르타르(B동)에서도 제거 효과가 현저하였다(1003.4㎍/88.2㎍). Benzene을 제외한 나머지 BTEXS 모두 뚜렷하게 제거된다.

9. 목탄건축자재로 신축할 경우 경제성(30평 기준)은, (경우 1)벽/천장만 시공할 경우, 기존 시멘트 시공과는 비교 할 수 없으며, 유사 타종류의 성분과 비교해야 한다. (경우 2)방바닥만 시공할 경우 목탄 건축자재로 시공할 경우 2년 이내에 시멘트 시공 비용보다 비싼 금액을 회수 할 수 있다. 여기서 목탄 건축자재를 사용한 방바닥 구조는 기존(120㎜)에 비하여 참숯자갈, 숯모르타르, 바이오숯모르타르 층을 포함해서 70㎜로 시공한 경우이다. (경우 3) 벽과 방바닥을 동시에 시공할 경우 B동 28년, C동은 16년이 되어야 이익이 발생한다. 아파트는 더 오랜 기간이 소요되므로 의미가 없다. 물론 이들 평가는 목탄건축자재로 신축하는 주목적이 공기질 개선에 있다는 것을 전혀 고려치 않은 것이다.

10. 친환경 목탄 건축자재를 내실 있게 실용화하기 위한 몇 가지 제안을 첨부하고자 한다.

본 연구의 결과로 숯의 건축소재로서의 가능성은 확인되었다. 그러나 숯이 함유된 친환경 건축자재를 보다 적극적으로 실용화·적용화하기 위해서는 아래와 같은 사후관리가 필요하다고 본다.

시공자의 목탄 건축자재 선택을 유도해야 한다. 시공 현장에서 새로운 수요 창출을 위해서는 시공자의 요구 성능에 만족해야 한다. 실제로 시공하는 측면에서 기존 건축자재에 비하여 성능이 좋고, 다루기 쉬우며 구입하기도 편리해야 한다.

목탄 건축자재의 적용은 국민들의 호감은 얻을 수 있으나, 실제 적용하려면 가격 문제에 부딪힌다. 따라서 현재의 가격을 좀 더 낮출 수 있는 기술적, 또

는 대량생산 등의 관한 연구가 필요하다고 본다.

새로운 수요 창출을 위해서는 아직 분명해지지 않은 몇 가지 점들도 더 명확하게 구명하여야 한다. 예를 들면 시공유효기간, 즉 한번 칠하면 언제까지 성능이 유지되는지, 또한 장판과 벽지 등에 의한 흡착력 감소 문제, 그리고 기존 차단제와 어떻게 경쟁할 수 있느냐에 대한 문제점이다.

목탄 건축자재의 건축적인 성능도 검증할 필요가 있다. 예를 들면 방바닥의 균열문제도 관찰해 볼 필요가 있다. 또한 차음과 결로 현상은 기존 건축가들에게 연구를 의뢰할 필요도 있다고 본다.

최근에 새로 짓는 대단위 주택에서는 주택성능인증제가 요구된다. 주택성능인증을 위한 열한개의 환경기준 인자 중에서 공기질 문제도 포함되어 있다. 그런 측면에서 본 연구는 큰 의미가 있다고 본다. 그러나 이러한 목탄 건축자재를 사용한 주택이 주택성능인증을 받으려면 주택법상 문제가 없는지를 조사해 볼 필요가 있다.

5. 참고문헌

1. 김현중: 실내 공기질 오염과 산학연 대처방안. 「실내 공기질 관리법과 목질제품, 무엇이 문제인가?」. 2004 Symposium Proceedings. 서울대, pp. 53-84 (2004).

2. 조현수: 실내 공기질 관리 방안. 「실내 공기질 관리법과 목질제품, 무엇이 문제인가?」. 2004 Symposium Proceedings. 서울대, pp. 29-35 (2004).

3. 김현중, 새집증후군 대책의 바이블, 일본건축학회 편, 김현중(역), 선진문화사, pp 13-50, (2004).

4. 박일호, 실내공기질관리의 정책방향, “실내환경과 목질제품” pp 7-22, 한국목재실내환경협의회 산학연 심포지엄, 한국목재실내환경협의회, 한국목재공학회, 국립산림과학원, (2004).

5. 김 홍, 실내 공기질 관리를 위한 목질제품 표준화 방향, “실내 공기질 관리법과 목질제품, 무엇이 문제인가?”. 2004 Symposium Proceedings. 서울대, pp. 39-46 (2004).

6. 박종영, 실내공기 환경 대책의 문제점과 목재 분야의 대응방안. 「실내 공기질 관리법과 목질제품, 무엇이 문제인가?」. 2004 symposium proceedings. 서울대, pp. 87-109 (2004).

7. 이태호, 막힘 방지형 바이오 필터를 이용한 악취 및 휘발성유기화합물 제거기술. 제6회 환경기술 심포지움. 한국 공업화학회. pp. 140-143 (2002).

8. 구자운, 숯과 목초액, 재단법인 소호문화재단, pp 14-20, 56-80, (2003).

9. 박상범 외. 대나무 신용도 개발(Ⅳ) - 대나무 숯의 흡착성능- , 산림과학논문집 제64호, pp101-107, (2001).

10. 박상범 외. 대나무 신용도 개발(Ⅴ) - 대나무 숯의 특수성능 - , 산림과학논문집 제64호, pp108-114, (2002).

11. 安部 郁夫, 環境改善用木炭の特性とその效果, 特産情報 . 10., (1977).

12. Michiko, M., Yukie, S., Satoshi, S., Takanori, A.: Adsorption Properties of Charcoals from Wood-Based Materials. Mokuzai Gakkaishi. Vol. 46, No. 4, pp. 355-362 (2000).

13. Yukie, S., Michiko, M., Satoshi, S., Taknori, A.: Formaldehyde Adsorption and Desorption Properties of Wood-Based Charcoal. Mokuzai Gakkaishi. Vol. 46, No. 6, pp. 596-601 (2000).

14. Asano, N., Noshomura, J., Nishimiya, K., Hata, T., Imamura, Y., Ishihara, S., Tomita, B.: *Wood Research* 86, pp8-9 (1999).

15. Yasuji K., Koiko K., Yousei K., Misato N., Osamu S.: Performance of charcoals for humidity control. Wood Industry 57(9), pp342-397 (2002).

16. 김정욱, 바닥충격음의 동향과 재료적 특성, 방제기술 38, pp. 24-33 (2005)

17. 김태희, 슬래브 두께 및 강성의 변화에 따른 바닥충격음 저감효과에 관한 실험적 연구, 현대건설연구소 연구자료집 (2005).

18. 이성복 외 3인, 편복도형 공동주택 세대 현관문의 결로방지 성능 개선 연구, 내부 자료, (2004).

<부록 1> 건축자재별 일간 기름소비량 (천막존재)

경과 일수	기 름 소 비 량 (ℓ)								
	일반건축자재			숯 모르타르 건축자재			바이오 숯 건축자재		
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차
0.5	1.925	2.169	1.673	1.607	2.079	1.597	1.643	1.914	1.247
1.0	4.202	4.009	3.087	3.443	3.832	2.862	3.518	3.532	2.360
1.5	6.285	6.109	4.614	5.153	5.749	4.253	5.208	5.341	3.492
2.0	8.693	8.024	5.820	7.072	7.597	5.399	7.138	6.978	4.464
2.5	10.725	10.304	7.247	8.718	9.702	6.740	8.835	9.022	5.555
3.0	12.999	12.370	8.574	10.635	11.612	7.939	10.736	10.799	6.797
3.5	15.053	14.677	10.065	12.315	13.850	9.374	12.357	12.809	8.068
4.0	17.291	16.670	11.679	14.134	15.676	10.813	14.152	14.535	9.471
4.5	19.438	18.893	13.605	16.007	17.779	12.734	15.966	16.438	11.164
5.0	21.494	20.810	15.429	17.816	19.489	14.432	17.685	18.096	12.661
5.5	23.537	23.171	17.252	19.600	21.747	16.087	19.372	20.010	14.254
6.0	25.849	25.092	18.798	21.625	23.575	17.456	21.238	21.704	15.590
6.5	27.918	27.215	20.316	23.440	25.563	18.878	22.990	23.582	17.009
7.0	30.238	29.045	21.501	25.559	27.234	20.027	24.977	25.164	18.092
7.5	32.307	30.940	22.902	27.374	29.005	21.406	26.729	26.813	19.334
8.0	34.653	32.677	24.370	29.494	30.589	22.763	28.726	28.404	20.658
8.5	36.818	34.884	25.841	31.438	32.585	24.145	30.520	30.287	21.963
9.0	39.278	36.705	27.268	33.611	34.217	25.372	32.564	31.908	23.144
9.5	41.449	38.938	28.988	35.533	36.221	26.815	34.361	33.835	24.370
10.0	43.750	41.025	30.363	37.679	38.187	28.086	36.338	35.688	25.511
10.5	45.858	43.361	32.044	39.539	40.434	29.712	38.092	37.749	26.976
11.0	48.224	45.430	33.717	41.780	42.336	30.827	40.066	39.489	28.033
11.5	50.310	47.767	34.860	43.609	44.581	31.920	41.660	41.560	29.068
12.0	52.349	49.864	36.260	45.405	46.550	33.274	43.524	43.436	30.349
12.5	54.333	52.200	37.437	47.138	48.755	34.198	45.088	45.466	31.269
13.0	56.437	54.186	38.887	49.146	50.641	35.522	46.970	47.214	32.473
13.5	58.531	56.396	40.228	51.014	52.678	36.717	48.708	49.079	33.708
14.0	60.910	58.284	41.471	53.284	54.385	37.818	50.681	50.686	34.806
14.5	63.046	60.215	42.872	55.198	56.165	39.161	52.445	52.347	35.947
15.0	65.240	62.052	43.827	57.185	57.816	39.888	54.345	53.796	36.821
15.5	67.203	64.133	45.035	58.942	59.770	41.076	55.994	55.491	37.940
16.0	69.278	66.011	46.135	60.922	61.458	41.980	57.720	57.034	38.910
16.5	71.250	68.138	47.264	62.671	63.470	42.976	59.398	58.748	39.982
17.0	73.556	69.926	48.390	64.770	65.148	43.893	61.362	60.263	41.014
17.5	75.652	72.002	49.500	66.658	67.103	44.843	63.129	61.991	42.034
18.0	77.974	73.876	50.550	68.946	68.673	45.768	65.129	63.477	42.976
18.5	80.200	75.915	51.557	70.906	70.609	46.771	66.958	65.228	43.962
19.0	82.638	77.720	52.910	73.268	72.242	47.914	69.069	66.771	45.129
19.5	84.793	79.609	54.259	75.203	73.982	49.010	70.911	68.523	46.323
20.0	87.182	81.386	55.215	77.480	75.470	49.932	72.921	70.025	47.257
20.5	89.337	83.153	56.436	79.374	77.074	51.024	74.738	71.549	48.426
21.0	91.750	84.703	57.325	81.671	78.477	51.743	76.766	72.840	49.194
21.5	93.925	86.584	58.541	83.673	80.191	52.837	78.660	74.393	50.291
22.0	96.291	87.911	59.430	85.880	81.398	53.573	80.677	75.603	51.181
22.5	98.487	89.392	60.799	87.839	82.659	54.825	82.512	76.786	52.347
23.0	100.857	90.847	61.761	90.070	83.881	55.657	84.484	77.979	53.241
23.5	102.959	92.417	63.103	91.910	85.247	56.963	86.275	79.297	54.477
24.0	105.275	94.196	64.191	94.087	86.939	57.993	88.244	80.798	55.476
24.5	107.350	96.365	65.677	95.910	88.840	59.360	89.942	82.556	56.684
25.0	109.499	98.439	66.764	97.866	90.665	60.382	91.724	84.302	57.765
25.5	111.406	100.627	68.197	99.605	92.590	61.719	93.323	86.144	58.995
26.0	113.649	102.623	69.224	101.655	94.345	62.652	95.184	87.814	60.002
26.5	115.492	104.725	70.633	103.334	95.966	63.915	96.788	89.626	61.133
27.0	117.564	106.505	71.506	105.284	97.437	64.649	98.497	91.119	62.013
27.5	119.502	108.407	72.735	106.989	99.309	65.738	100.114	92.695	63.142
28.0	121.739	110.114	73.751	109.035	100.901	66.552	102.012	94.118	63.965
28.5	123.715	111.656	74.751	110.903	102.287	67.396	103.697	95.353	64.852
29.0	125.978	112.990	75.809	113.127	103.520	68.374	105.663	96.534	65.830
29.5	128.312	114.914	76.519	115.213	105.244	68.994	107.600	98.095	66.533
30.0	130.542	116.390	77.621	117.253	106.599	69.867	109.400	99.208	67.482

<부록 2> 건축자재별 일간 기름소비량(부록 1의 3회 평균)

경과일수 (일)	기 름 소 비 량 (ℓ)		
	일반건축자재	목탄건축자재	바이오숯건축자재
0.5	1,922	1,761	1,506
1.0	3,766	3,379	2,770
1.5	5,669	5,052	4,120
2.0	7,512	6,689	5,228
2.5	9,425	8,387	6,514
3.0	11,314	10,062	7,770
3.5	13,265	11,846	9,169
4.0	15,213	13,541	10,654
4.5	17,312	15,507	12,501
5.0	19,244	17,246	14,174
5.5	21,320	19,145	15,864
6.0	23,246	20,885	17,281
6.5	25,150	22,627	18,734
7.0	26,928	24,273	19,873
7.5	28,716	25,928	21,214
8.0	30,567	27,615	22,597
8.5	32,514	29,389	23,983
9.0	34,417	31,067	25,261
9.5	36,458	32,856	26,724
10.0	38,379	34,651	27,987
10.5	40,421	36,562	29,577
11.0	42,457	38,314	30,859
11.5	44,312	40,037	31,949
12.0	46,158	41,743	33,294
12.5	47,990	43,364	34,301
13.0	49,837	45,103	35,627
13.5	51,718	46,803	36,884
14.0	53,555	48,496	38,032
14.5	55,378	50,175	39,327
15.0	57,040	51,630	40,179
15.5	58,790	53,263	41,350
16.0	60,475	54,787	42,342
16.5	62,217	56,372	43,407
17.0	63,957	57,937	44,432
17.5	65,718	59,535	45,459
18.0	67,467	61,129	46,431
18.5	69,224	62,762	47,430
19.0	71,089	64,475	48,651
19.5	72,887	66,065	49,864
20.0	74,594	67,627	50,801
20.5	76,309	69,157	51,962
21.0	77,926	70,630	52,754
21.5	79,683	72,234	53,890
22.0	81,211	73,617	54,728
22.5	82,893	75,108	55,990
23.0	84,488	76,536	56,886
23.5	86,160	78,040	58,181
24.0	87,887	79,673	59,220
24.5	89,797	81,370	60,574
25.0	91,567	82,971	61,637
25.5	93,410	84,638	62,970
26.0	95,165	86,217	63,959
26.5	96,950	87,738	65,227
27.0	98,525	89,123	66,056
27.5	100,215	90,679	67,205
28.0	101,868	92,163	68,089
28.5	103,374	93,529	69,000
29.0	104,926	95,007	70,004
29.5	106,582	96,484	70,682
30.0	108,184	97,906	71,657

<부록 3> 건축자재별 일간기름소비량(천막제거)

경과일수 (일)	기 름 소 비 량 (ℓ)	
	일반건축자재	목탄건축자재
0.5	2.398	2.155
1.0	4.044	4.229
1.5	7.249	6.417
2.0	9.603	8.375
2.5	11.910	10.445
3.0	13.995	12.137
3.5	16.249	14.034
4.0	18.147	15.601
4.5	20.410	17.666
5.0	22.318	19.139
5.5	24.604	21.378
6.0	26.359	22.821
6.5	28.226	24.460
7.0	30.075	25.908
7.5	32.037	27.554
8.0	33.927	29.069
8.5	36.018	30.803
9.0	37.951	32.373
9.5	40.173	34.411
10.0	42.254	36.419
10.5	44.473	38.437
11.0	46.476	40.162
11.5	48.683	42.078
12.0	50.534	43.559
12.5	52.590	45.368
13.0	54.268	46.760
13.5	56.364	48.658
14.0	58.063	50.308
14.5	59.979	52.238
15.0	61.688	53.888
15.5	63.769	55.818
16.0	65.492	57.468
16.5	67.636	59.398
17.0	69.154	61.196
17.5	71.179	63.075
18.0	72.838	64.559
18.5	74.660	66.176
19.0	76.620	67.946
19.5	78.753	69.949
20.0	80.715	71.775
20.5	82.579	73.459
21.0	84.591	75.193
21.5	86.680	77.014
22.0	88.647	78.638
22.5	90.482	80.533
23.0	92.430	82.348
23.5	94.631	84.090
24.0	96.642	85.978
24.5	98.649	87.733
25.0	100.548	89.474
25.5	102.511	91.230
26.0	104.388	92.928
26.5	106.507	94.805
27.0	108.671	96.616
27.5	110.686	98.351
28.0	112.808	100.112
28.5	114.849	101.894
29.0	116.748	103.686

<부록 4> 주간, 일반건축자재 실내온도 변화 (공기)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	0.3	22.3	24.0	27.0	205	6.3	17.8	19.0	22.1	410	11.3	16.0	16.6	21.0	615	7.5	13.9	14.3	18.8
5	0.6	22.3	24.0	27.0	210	6.2	17.8	19.0	22.0	415	11.7	16.0	16.6	21.0	620	7.3	13.7	14.2	18.8
10	0.6	22.3	23.9	27.0	215	6.5	17.7	18.9	21.9	420	11.9	16.0	16.6	21.0	625	7.3	13.5	14.1	18.6
15	0.8	22.3	23.7	26.8	220	6.9	17.7	18.9	21.8	425	12.3	16.0	16.6	21.0	630	6.8	13.4	14.1	18.4
20	1.2	22.1	23.5	26.8	225	6.6	17.7	18.8	21.8	430	12.1	16.0	16.6	21.0	635	6.4	13.3	14.0	18.2
25	1.4	22.1	23.3	26.8	230	6.9	17.4	18.6	21.8	435	12.1	16.0	16.6	21.0	640	6.8	13.2	14.0	18.0
30	1.6	22.1	23.3	26.6	235	7.1	17.1	18.4	21.7	440	12.2	16.0	16.6	21.0	645	6.3	13.1	14.0	18.0
35	1.8	22.1	23.1	26.6	240	7.1	17.1	18.3	21.6	445	12.0	16.0	16.6	21.0	650	6.9	13.0	14.0	18.0
40	2.0	22.1	23.1	26.6	245	7.4	17.0	18.2	21.6	450	12.2	16.0	16.6	21.0	655	6.7	13.0	13.8	18.0
45	2.1	22.0	23.0	26.4	250	8.0	17.1	18.0	21.5	455	12.0	16.0	16.6	21.0	660	6.5	13.0	13.8	17.8
50	2.0	21.7	23.0	26.3	255	7.7	16.8	18.0	21.4	460	11.6	16.0	16.6	21.0	665	6.8	13.0	13.8	17.8
55	2.1	21.6	22.9	26.1	260	7.7	16.8	17.9	21.4	465	11.5	16.0	16.6	21.0	670	6.4	12.8	13.6	17.7
60	2.4	21.5	22.7	26.0	265	7.9	16.7	17.8	21.2	470	11.7	16.0	16.6	21.0	675	6.2	12.7	13.5	17.6
65	2.7	21.3	22.5	26.0	270	8.5	16.7	17.8	21.2	475	11.8	16.0	16.6	21.0	680	5.4	12.6	13.4	17.6
70	2.4	21.1	22.3	25.8	275	8.5	16.7	17.7	21.2	480	11.7	16.0	16.4	21.0	685	5.3	12.6	13.4	17.4
75	2.9	21.0	22.1	25.7	280	9.1	16.6	17.7	21.0	485	11.6	16.0	16.3	21.0	690	5.5	12.6	13.4	17.3
80	2.9	20.8	21.8	25.5	285	8.4	16.5	17.5	21.0	490	11.4	16.0	16.3	21.0	695	5.4	12.4	13.3	17.3
85	2.9	20.7	21.6	25.6	290	9.1	16.5	17.5	21.0	495	11.4	16.0	16.2	21.0	700	5.1	12.2	13.3	17.2
90	3.1	20.6	21.6	25.2	295	8.7	16.5	17.4	21.0	500	11.3	16.0	16.2	21.0	705	5.1	12.1	13.3	17.1
95	3.3	20.5	21.6	25.2	300	9.1	16.5	17.4	21.0	505	11.0	16.0	16.1	21.0	710	5.2	12.0	13.1	17.1
100	3.5	20.4	21.5	25.0	305	9.2	16.3	17.1	21.0	510	10.9	16.0	16.0	21.0	715	5.1	12.0	13.1	17.0
105	3.4	20.3	21.5	25.0	310	9.7	16.3	17.1	21.0	515	10.6	16.0	16.0	20.9	720	4.9	12.0	13.0	17.0
110	3.4	20.2	21.1	24.8	315	9.5	16.0	17.0	21.0	520	10.3	16.0	16.0	20.7	725	5.2	12.0	13.0	17.0
115	4.0	20.1	20.7	24.5	320	9.9	16.0	17.0	21.0	525	10.1	16.0	16.0	20.5	730	5.0	12.0	13.0	17.0
120	4.1	20.0	20.8	24.3	325	7.9	16.0	17.0	21.0	530	10.0	16.0	16.0	20.5	평균	7.4			
125	4.2	19.8	20.9	24.1	330	9.9	16.0	17.0	21.0	535	9.8	16.0	15.9	20.3					
130	4.1	19.6	20.8	24.0	335	10.3	16.0	17.0	21.0	540	9.7	16.0	15.9	20.1					
135	4.6	19.6	20.7	23.8	340	10.0	16.0	17.0	21.0	545	9.3	16.0	15.8	20.1					
140	4.5	19.4	20.5	23.8	345	10.1	16.0	17.0	21.0	550	9.5	16.0	15.8	20.1					
145	4.4	19.2	20.3	23.6	350	10.8	16.0	17.0	21.0	555	9.3	15.7	15.7	20.1					
150	5.1	19.0	20.3	23.4	355	10.8	16.0	16.8	21.0	560	9.1	15.4	15.6	20.1					
155	4.8	18.7	20.1	23.2	360	11.3	16.0	16.7	21.0	565	9.1	15.0	15.5	20.0					
160	5.0	18.8	20.1	23.2	365	11.3	16.0	16.7	21.0	570	8.9	15.0	15.3	19.8					
165	5.1	18.6	19.8	23.0	370	11.1	16.0	16.7	21.0	575	8.7	14.9	15.1	19.8					
170	5.1	18.4	19.6	23.0	375	11.0	16.0	16.6	21.0	580	8.6	14.7	15.1	19.7					
175	5.5	18.4	19.6	22.8	380	10.8	16.0	16.6	21.0	585	8.4	14.5	15.1	19.5					
180	5.6	18.4	19.6	22.8	385	10.9	16.0	16.6	21.0	590	8.5	14.4	15.0	19.3					
185	6.1	18.2	19.4	22.6	390	11.7	16.0	16.6	21.0	595	8.1	14.3	14.8	19.1					
190	6.2	18.2	19.3	22.5	395	11.8	16.0	16.6	21.0	600	8.0	14.1	14.6	19.0					
195	6.4	18.0	19.2	22.3	400	11.7	16.0	16.6	21.0	605	7.9	14.0	14.5	19.0					
200	6.1	17.8	19.0	22.1	405	11.6	16.0	16.6	21.0	610	7.7	14.0	14.4	18.8					

<부록 5> 주간, 일반건축자재 실내온도 변화 (방바닥)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	0.3	35.4	37.0	37.8	205	6.3	22.9	24.3	26.8	410	11.3	19.1	20.0	23.7	615	7.5	15.8	16.6	20.3
5	0.6	35.3	37.0	37.5	210	6.2	22.6	24.2	26.6	415	11.7	19.1	20.0	23.7	620	7.3	15.8	16.5	20.2
10	0.6	35.2	37.0	37.4	215	6.5	22.6	23.9	26.5	420	11.9	19.1	20.0	23.6	625	7.3	15.5	16.5	20.1
15	0.8	34.9	36.2	37.4	220	6.9	22.5	23.6	26.4	425	12.3	19.1	20.0	23.6	630	6.8	15.5	16.3	20.0
20	1.2	34.4	35.6	37.4	225	6.6	22.4	23.6	26.3	430	12.1	19.1	20.0	23.6	635	6.4	15.3	16.2	19.8
25	1.4	33.6	34.9	37.4	230	6.9	22.3	23.5	26.2	435	12.1	19.1	19.9	23.6	640	6.8	15.2	16.1	19.8
30	1.6	33.3	34.4	37.0	235	7.1	22.2	23.4	26.1	440	12.2	18.8	19.7	23.6	645	6.3	15.1	16.0	19.8
35	1.8	32.7	33.9	36.4	240	7.1	22.1	23.1	25.8	445	12.0	18.8	19.6	23.6	650	6.9	15.1	16.0	19.6
40	2.0	32.1	33.3	36.0	245	7.4	21.7	22.9	25.8	450	12.2	18.8	19.6	23.6	655	6.7	15.0	16.0	19.5
45	2.1	31.9	33.0	35.6	250	8.0	21.4	22.7	25.8	455	12.0	18.6	19.4	23.6	660	6.5	15.0	16.0	19.5
50	2.0	31.3	32.4	35.2	255	7.7	21.3	22.6	25.6	460	11.6	18.5	19.4	23.6	665	6.8	15.0	15.8	19.3
55	2.1	30.9	32.0	34.9	260	7.7	21.3	22.5	25.4	465	11.5	18.5	19.4	23.6	670	6.4	14.9	15.8	19.2
60	2.4	30.7	31.5	34.3	265	7.9	21.2	22.4	25.3	470	11.7	18.5	19.4	23.6	675	6.2	14.8	15.8	19.2
65	2.7	30.3	31.1	33.9	270	8.5	21.2	22.1	25.2	475	11.8	18.5	19.1	23.6	680	5.4	14.8	15.6	19.2
70	2.4	30.0	30.8	33.5	275	8.5	21.1	22.0	25.1	480	11.7	18.5	18.8	23.6	685	5.3	14.7	15.5	19.0
75	2.9	29.3	30.3	33.3	280	9.1	20.9	21.9	25.0	485	11.6	18.5	18.8	23.6	690	5.5	14.7	15.3	19.0
80	2.9	28.9	30.0	32.9	285	8.4	20.8	21.8	24.8	490	11.4	18.5	18.8	23.5	695	5.4	14.6	15.3	19.0
85	2.9	28.8	29.7	32.9	290	9.1	20.8	21.7	24.7	495	11.4	18.5	18.8	23.4	700	5.1	14.5	15.3	19.0
90	3.1	28.3	29.2	32.3	295	8.7	20.7	21.7	24.7	500	11.3	18.5	18.8	23.2	705	5.1	14.5	15.1	19.0
95	3.3	28.1	29.0	31.9	300	9.1	20.4	21.6	24.6	505	11.0	18.3	18.8	23.1	710	5.2	14.3	15.0	19.0
100	3.5	27.9	28.8	31.4	305	9.2	20.3	21.3	24.6	510	10.9	18.3	18.8	22.9	715	5.1	14.3	15.0	18.7
105	3.4	27.6	28.4	31.3	310	9.7	20.2	21.3	24.5	515	10.6	18.0	18.7	22.6	720	4.9	14.0	15.0	18.6
110	3.4	27.3	28.1	31.1	315	9.5	20.1	21.2	24.4	520	10.3	17.8	18.4	22.3	725	5.2	14.0	15.0	18.5
115	4.0	27.0	27.8	30.8	320	9.9	19.8	21.1	24.4	525	10.1	17.8	18.3	22.1	730	5.0	14.0	15.0	18.5
120	4.1	26.8	27.7	30.4	325	7.9	19.8	20.8	24.2	530	10.0	17.4	18.1	22.1	평균	7.4			
125	4.2	26.5	27.5	30.1	330	9.9	19.5	20.7	24.1	535	9.8	17.4	18.1	22.0					
130	4.1	26.1	27.1	29.9	335	10.3	19.5	20.7	24.0	540	9.7	17.4	18.0	22.0					
135	4.6	26.0	27.0	29.7	340	10.0	19.4	20.7	24.0	545	9.3	17.4	18.0	22.0					
140	4.5	25.8	26.8	29.4	345	10.1	19.4	20.6	24.0	550	9.5	17.3	18.0	22.0					
145	4.4	25.5	26.6	29.2	350	10.8	19.4	20.6	24.0	555	9.3	17.2	17.7	21.7					
150	5.1	25.4	26.5	29.0	355	10.8	19.4	20.6	24.0	560	9.1	17.1	17.6	21.5					
155	4.8	24.8	26.2	28.7	360	11.3	19.3	20.5	24.0	565	9.1	16.8	17.5	21.3					
160	5.0	24.7	26.0	28.5	365	11.3	19.3	20.4	23.9	570	8.9	16.7	17.3	21.1					
165	5.1	24.5	25.7	28.2	370	11.1	19.3	20.2	23.9	575	8.7	16.6	17.1	21.0					
170	5.1	24.4	25.5	27.9	375	11.0	19.0	20.1	23.9	580	8.6	16.5	17.1	21.0					
175	5.5	24.4	25.4	27.7	380	10.8	19.0	20.0	23.9	585	8.4	16.3	17.0	21.0					
180	5.6	24.0	25.3	27.5	385	10.9	19.1	20.0	23.9	590	8.5	16.2	17.0	20.9					
185	6.1	23.5	25.0	27.5	390	11.7	19.1	20.0	23.9	595	8.1	16.1	17.0	20.8					
190	6.2	23.5	24.7	27.4	395	11.8	19.1	20.0	23.8	600	8.0	16.0	17.0	20.8					
195	6.4	23.2	24.5	27.1	400	11.7	19.1	20.0	23.8	605	7.9	16.0	16.9	20.7					
200	6.1	23.0	24.4	26.9	405	11.6	19.1	20.0	23.8	610	7.7	15.9	16.7	20.5					

<부록 6> 주간, 숯 모르타르 건축자재 실내온도 변화 (공기)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	0.3	25.0	25.3	25.7	205	6.3	22.0	22.7	23.8	410	11.3	19.0	20.0	22.1	615	7.5	15.8	17.6	19.7
5	0.6	25.0	25.3	25.7	210	6.2	22.0	22.5	23.7	415	11.7	19.0	19.9	22.0	620	7.3	15.7	17.5	19.7
10	0.6	25.0	25.3	25.6	215	6.5	22.0	22.4	23.7	420	11.9	18.8	19.9	22.0	625	7.3	15.7	17.4	19.6
15	0.8	25.0	25.3	25.6	220	6.9	21.8	22.4	23.7	425	12.3	18.8	19.9	22.0	630	6.8	15.5	17.4	19.7
20	1.2	24.8	25.3	25.6	225	6.6	21.8	22.3	23.7	430	12.1	18.8	19.8	22.0	635	6.4	15.5	17.4	19.5
25	1.4	24.8	25.1	25.6	230	6.9	21.8	22.2	23.7	435	12.1	18.8	19.8	22.0	640	6.8	15.3	17.2	19.1
30	1.6	24.6	25.1	25.6	235	7.1	21.8	22.1	23.7	440	12.2	18.4	19.8	22.0	645	6.3	15.2	17.0	19.1
35	1.8	24.6	25.1	25.6	240	7.1	21.6	22.0	23.7	445	12.0	18.4	19.7	22.0	650	6.9	15.0	17.0	19.1
40	2.0	24.6	25.1	25.6	245	7.4	21.5	21.9	23.7	450	12.2	18.0	19.7	21.9	655	6.7	15.0	17.0	19.0
45	2.1	24.5	25.0	25.6	250	8.0	21.5	21.9	23.6	455	12.0	17.9	19.6	21.9	660	6.5	15.0	16.7	18.7
50	2.0	24.5	25.0	25.6	255	7.7	21.3	21.9	23.3	460	11.6	17.9	19.6	21.9	665	6.8	14.9	16.7	18.5
55	2.1	24.5	24.9	25.5	260	7.7	21.3	21.8	23.3	465	11.5	17.9	19.6	21.6	670	6.4	14.9	16.5	18.5
60	2.4	24.4	24.8	25.5	265	7.9	21.1	21.8	23.3	470	11.7	17.9	19.6	21.6	675	6.2	14.9	16.4	18.5
65	2.7	24.4	24.6	25.4	270	8.5	21.1	21.8	23.3	475	11.8	17.9	19.5	21.6	680	5.4	14.8	16.3	18.5
70	2.4	24.2	24.5	25.3	275	8.5	21.0	21.7	23.2	480	11.7	17.9	19.4	21.6	685	5.3	14.8	16.2	18.5
75	2.9	24.2	24.5	25.3	280	9.1	21.0	21.5	23.0	485	11.6	17.8	19.4	21.6	690	5.5	14.8	16.2	18.5
80	2.9	24.0	24.3	25.3	285	8.4	21.0	21.4	23.0	490	11.4	17.8	19.3	21.6	695	5.4	14.8	16.0	18.5
85	2.9	24.0	24.3	25.1	290	9.1	20.8	21.4	23.0	495	11.4	17.8	19.3	21.6	700	5.1	14.8	16.0	18.4
90	3.1	24.0	24.2	25.0	295	8.7	20.6	21.2	23.0	500	11.3	17.8	19.2	21.5	705	5.1	14.6	16.0	18.3
95	3.3	24.0	24.1	25.0	300	9.1	20.4	21.0	23.1	505	11.0	17.8	19.1	21.5	710	5.2	14.4	16.0	18.3
100	3.5	24.0	24.1	25.0	305	9.2	20.4	21.0	23.0	510	10.9	17.6	19.0	21.2	715	5.1	14.3	15.8	18.0
105	3.4	24.0	24.0	24.9	310	9.7	20.2	21.0	22.9	515	10.6	17.3	19.0	21.0	720	4.9	14.3	15.8	18.0
110	3.4	23.8	24.0	24.7	315	9.5	20.2	20.9	22.9	520	10.3	17.1	18.7	20.7	725	5.2	14.2	15.8	18.0
115	4.0	23.8	23.8	24.6	320	9.9	20.1	20.8	22.9	525	10.1	17.1	18.6	20.5	730	5.0	14.4	15.8	18.0
120	4.1	23.8	23.8	24.6	325	7.9	20.1	20.8	22.9	530	10.0	17.0	18.6	20.5	평균	7.4			
125	4.2	23.6	23.6	24.4	330	9.9	20.0	20.7	22.9	535	9.8	17.0	18.5	20.5					
130	4.1	23.6	23.4	24.3	335	10.3	19.8	20.7	22.9	540	9.7	16.9	18.5	20.5					
135	4.6	23.4	23.3	24.3	340	10.0	19.8	20.7	22.8	545	9.3	16.6	18.4	20.5					
140	4.5	23.3	23.3	24.3	345	10.1	19.8	20.6	22.8	550	9.5	16.5	18.2	20.3					
145	4.4	23.2	23.2	24.2	350	10.8	19.6	20.6	22.8	555	9.3	16.4	18.3	20.2					
150	5.1	23.0	23.2	24.1	355	10.8	19.6	20.5	22.8	560	9.1	16.4	18.2	20.2					
155	4.8	22.8	23.1	24.1	360	11.3	19.6	20.5	22.8	565	9.1	16.3	18.1	20.2					
160	5.0	22.8	23.1	24.1	365	11.3	19.4	20.4	22.8	570	8.9	16.3	18.2	19.9					
165	5.1	22.8	23.1	24.0	370	11.1	19.4	20.4	22.8	575	8.7	16.3	18.2	19.9					
170	5.1	22.6	23.1	24.0	375	11.0	19.2	20.4	22.7	580	8.6	16.2	18.1	19.9					
175	5.5	22.6	23.1	24.0	380	10.8	19.0	20.3	22.7	585	8.4	16.2	18.2	19.9					
180	5.6	22.4	23.1	24.0	385	10.9	19.0	20.3	22.6	590	8.5	16.2	18.0	19.9					
185	6.1	22.4	23.1	24.0	390	11.7	19.0	20.2	22.5	595	8.1	16.1	18.1	19.9					
190	6.2	22.2	22.9	24.0	395	11.8	19.0	20.1	22.4	600	8.0	16.1	18.0	19.7					
195	6.4	22.2	22.8	24.0	400	11.7	19.0	20.0	22.3	605	7.9	16.1	17.8	19.7					
200	6.1	22.0	22.7	23.8	405	11.6	19.0	20.0	22.2	610	7.7	16.0	17.6	19.7					

<부록 7> 주간, 숯 모르타르 건축자재 실내온도 변화 (방바닥)

시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차
0	0.3	38.1	38.2	35.8
5	0.6	38.1	38.0	35.8
10	0.6	38.1	37.5	35.8
15	0.8	37.8	37.4	35.7
20	1.2	37.3	37.0	35.5
25	1.4	37.0	36.8	35.4
30	1.6	36.8	36.6	35.2
35	1.8	36.4	36.3	35.0
40	2.0	36.2	36.0	34.7
45	2.1	36.1	36.0	34.7
50	2.0	36.1	36.0	34.5
55	2.1	35.8	35.7	34.3
60	2.4	35.6	35.4	34.0
65	2.7	35.6	35.1	34.0
70	2.4	35.2	35.0	33.9
75	2.9	35.0	34.7	33.7
80	2.9	34.6	34.6	33.4
85	2.9	34.2	34.5	33.4
90	3.1	34.0	34.3	33.2
95	3.3	34.0	34.3	33.0
100	3.5	34.0	34.0	32.9
105	3.4	34.0	33.8	32.7
110	3.4	34.0	33.8	32.5
115	4.0	33.9	33.6	32.5
120	4.1	33.7	33.5	32.5
125	4.2	33.4	33.2	32.1
130	4.1	33.0	33.0	31.8
135	4.6	32.7	32.8	31.8
140	4.5	32.7	32.5	31.8
145	4.4	32.4	32.3	31.8
150	5.1	32.2	32.4	31.5
155	4.8	32.2	32.4	31.2
160	5.0	32.0	32.4	31.0
165	5.1	31.9	32.2	30.9
170	5.1	31.9	32.2	30.5
175	5.5	31.6	32.0	30.4
180	5.6	31.4	31.8	30.4
185	6.1	31.2	31.7	30.2
190	6.2	31.0	31.6	30.0
195	6.4	30.8	31.3	30.0
200	6.1	30.7	31.0	30.0
205	6.3	30.7	30.8	30.0
210	6.2	30.4	30.8	30.0
215	6.5	30.4	30.6	29.9
220	6.9	30.2	30.6	29.8
225	6.6	30.1	30.2	29.7
230	6.9	30.0	30.0	29.7
235	7.1	29.8	29.8	29.6
240	7.1	29.4	29.7	29.6
245	7.4	29.3	29.4	29.6
250	8.0	29.2	29.3	29.4
255	7.7	29.3	29.2	29.2
260	7.7	29.2	29.2	29.2
265	7.9	28.8	29.0	29.2
270	8.5	28.9	28.9	29.0
275	8.5	28.8	28.8	28.6
280	9.1	28.4	28.7	28.6
285	8.4	28.2	28.6	28.4
290	9.1	28.1	28.5	28.4
295	8.7	28.0	28.5	28.4
300	9.1	27.9	28.5	28.4
305	9.2	27.5	28.3	28.4
310	9.7	27.3	28.3	28.4
315	9.5	27.5	28.2	28.4
320	9.9	27.0	28.0	28.3
325	7.9	26.9	28.0	28.3
330	9.9	26.7	27.7	28.3
335	10.3	26.6	27.6	28.1
340	10.0	26.5	27.5	28.1
345	10.1	26.4	27.4	28.1
350	10.8	26.3	27.3	27.8
355	10.8	26.2	27.2	27.8
360	11.3	26.1	27.1	27.8
365	11.3	26.0	26.9	27.7
370	11.1	25.9	26.9	27.7
375	11.0	25.8	26.8	27.4
380	10.8	25.7	26.6	27.4
385	10.9	25.6	26.6	27.4
390	11.7	25.5	26.4	27.4
395	11.8	25.5	26.3	27.4
400	11.7	25.4	26.2	27.3
405	11.6	25.3	25.9	27.2
410	11.3	25.3	26.2	26.9
415	11.7	25.1	25.9	26.7
420	11.9	24.9	25.9	26.5
425	12.3	24.8	25.9	26.5
430	12.1	24.7	26.1	26.5
435	12.1	24.5	26.1	26.5
440	12.2	24.3	26.1	26.5
445	12.0	24.2	26.1	26.5
450	12.2	24.0	26.0	26.3
455	12.0	24.0	25.8	26.3
460	11.6	24.0	25.7	26.1
465	11.5	24.0	25.8	26.0
470	11.7	23.9	25.4	26.0
475	11.8	23.8	25.2	26.0
480	11.7	23.7	25.0	25.9
485	11.6	23.7	24.8	25.9
490	11.4	23.5	24.8	25.6
495	11.4	23.5	24.5	25.6
500	11.3	23.4	24.4	25.6
505	11.0	23.2	24.2	25.6
510	10.9	23.0	24.0	25.4
515	10.6	23.0	24.0	25.1
520	10.3	23.0	23.9	24.8
525	10.1	22.8	23.9	24.7
530	10.0	22.7	23.7	24.7
535	9.8	22.7	23.6	24.6
540	9.7	22.5	23.5	24.5
545	9.3	22.3	23.5	24.4
550	9.5	22.1	23.4	24.3
555	9.3	22.1	23.4	24.2
560	9.1	22.1	23.4	24.2
565	9.1	22.0	23.4	24.1
570	8.9	22.0	23.2	23.9
575	8.7	21.8	23.2	23.9
580	8.6	21.6	23.1	23.9
585	8.4	21.5	23.0	23.9
590	8.5	21.3	23.1	23.9
595	8.1	21.3	22.9	23.9
600	8.0	21.1	22.9	23.7
605	7.9	21.0	22.8	23.6
610	7.7	20.8	22.7	23.4
615	7.5	20.8	22.5	23.4
620	7.3	20.8	22.4	23.4
625	7.3	20.7	22.2	23.1
630	6.8	20.5	22.1	23.0
635	6.4	20.3	22.0	22.8
640	6.8	20.2	21.9	22.8
645	6.3	20.1	21.8	22.7
650	6.9	20.0	21.8	22.6
655	6.7	20.0	21.6	22.4
660	6.5	20.0	21.4	22.3
665	6.8	19.9	21.3	22.2
670	6.4	19.9	21.1	22.2
675	6.2	19.7	21.0	22.2
680	5.4	19.7	20.9	22.2
685	5.3	19.7	20.9	22.1
690	5.5	19.7	20.7	22.1
695	5.4	19.6	20.5	22.0
700	5.1	19.6	20.5	22.0
705	5.1	19.5	20.3	22.0
710	5.2	19.5	20.3	21.8
715	5.1	19.5	20.3	21.6
720	4.9	19.4	20.3	21.4
725	5.2	19.4	20.0	21.4
730	5.0	19.3	20.0	21.4
평균	7.4			

<부록 8> 주간, 바이오 숯 모르타르 건축자재 실내온도 변화 (공기)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	0.3	25.0	25.5	26.1	205	6.3	21.3	21.8	21.7	410	11.3	17.2	19.0	21.3	615	7.5	14.4	15.7	18.5
5	0.6	25.0	25.5	25.8	210	6.2	21.0	21.8	21.7	415	11.7	17.2	19.0	21.3	620	7.3	14.3	15.7	18.5
10	0.6	25.0	25.5	25.8	215	6.5	20.8	21.7	21.7	420	11.9	17.2	18.9	21.3	625	7.3	14.3	15.7	18.4
15	0.8	25.0	25.5	25.5	220	6.9	20.8	21.7	21.7	425	12.3	17.2	18.9	21.1	630	6.8	14.2	15.6	18.1
20	1.2	25.0	25.5	25.5	225	6.6	20.8	21.5	21.7	430	12.1	17.2	18.9	21.1	635	6.4	14.2	15.6	18.1
25	1.4	25.0	25.5	25.5	230	6.9	20.6	21.5	21.7	435	12.1	17.2	18.9	21.1	640	6.8	14.2	15.5	18.1
30	1.6	25.0	25.4	25.5	235	7.1	20.4	21.3	21.7	440	12.2	17.2	18.9	21.0	645	6.3	14.0	15.5	18.1
35	1.8	25.0	25.4	25.5	240	7.1	20.4	21.1	21.7	445	12.0	17.2	18.9	21.0	650	6.9	13.8	15.5	17.9
40	2.0	25.0	25.3	25.3	245	7.4	20.5	21.0	21.7	450	12.2	17.2	18.9	20.9	655	6.7	13.8	15.5	17.9
45	2.1	25.0	25.2	25.1	250	8.0	20.5	20.7	21.6	455	12.0	17.2	18.6	20.9	660	6.5	13.9	15.4	17.9
50	2.0	25.0	25.2	25.0	255	7.7	20.3	20.7	21.6	460	11.6	17.2	18.5	20.9	665	6.8	13.7	15.2	17.6
55	2.1	24.9	25.0	25.0	260	7.7	20.2	20.7	21.6	465	11.5	17.0	18.3	20.7	670	6.4	13.7	15.0	17.5
60	2.4	24.9	24.8	25.0	265	7.9	20.0	20.7	21.6	470	11.7	17.0	18.3	20.7	675	6.2	13.7	14.8	17.5
65	2.7	24.8	24.7	24.8	270	8.5	20.0	20.7	21.6	475	11.8	17.0	18.1	20.7	680	5.4	13.6	14.6	17.5
70	2.4	24.8	24.7	24.7	275	8.5	20.0	20.5	21.6	480	11.7	17.0	18.0	20.5	685	5.3	13.6	14.6	17.5
75	2.9	24.8	24.6	24.6	280	9.1	20.0	20.5	21.6	485	11.6	16.8	17.7	20.5	690	5.5	13.6	14.2	17.5
80	2.9	24.8	24.5	24.5	285	8.4	19.7	20.5	21.6	490	11.4	16.9	17.7	20.5	695	5.4	13.6	14.2	17.5
85	2.9	24.7	24.3	24.4	290	9.1	19.6	20.3	21.6	495	11.4	16.9	17.5	20.5	700	5.1	13.5	14.2	17.5
90	3.1	24.6	24.2	24.2	295	8.7	19.6	20.3	21.6	500	11.3	16.8	17.5	20.5	705	5.1	13.4	14.2	17.3
95	3.3	24.5	24.2	24.2	300	9.1	19.5	20.2	21.6	505	11.0	16.8	17.4	20.3	710	5.2	13.3	14.1	17.3
100	3.5	24.4	24.0	24.0	305	9.2	19.4	20.2	21.6	510	10.9	16.6	17.4	20.3	715	5.1	13.1	14.0	17.3
105	3.4	24.2	24.0	23.7	310	9.7	19.4	20.2	21.6	515	10.6	16.5	17.4	20.0	720	4.9	13.1	14.0	17.0
110	3.4	24.2	23.6	23.5	315	9.5	19.2	20.2	21.6	520	10.3	16.3	17.4	19.8	725	5.2	13.1	14.0	17.0
115	4.0	24.1	23.6	23.5	320	9.9	19.2	20.2	21.6	525	10.1	16.1	17.2	19.8	730	5.0	13.1	14.0	17.0
120	4.1	24.0	23.5	23.4	325	7.9	19.1	20.2	21.6	530	10.0	16.0	17.2	19.8	평균	7.4			
125	4.2	24.0	23.4	23.2	330	9.9	19.0	20.1	21.6	535	9.8	16.0	17.2	19.8					
130	4.1	23.7	23.3	23.2	335	10.3	18.8	20.0	21.6	540	9.7	16.0	17.1	19.6					
135	4.6	23.4	23.2	23.0	340	10.0	18.5	20.0	21.6	545	9.3	15.9	17.0	19.5					
140	4.5	23.4	23.2	23.0	345	10.1	18.3	20.0	21.6	550	9.5	15.8	17.0	19.5					
145	4.4	23.4	23.0	23.0	350	10.8	18.0	20.0	21.6	555	9.3	15.6	17.0	19.5					
150	5.1	23.4	23.0	22.8	355	10.8	17.8	19.8	21.6	560	9.1	15.4	16.8	19.3					
155	4.8	23.2	23.0	22.8	360	11.3	17.6	19.5	21.6	565	9.1	15.4	16.8	19.4					
160	5.0	23.0	23.0	22.6	365	11.3	17.6	19.3	21.6	570	8.9	15.3	16.6	19.2					
165	5.1	22.9	22.7	22.6	370	11.1	17.5	19.3	21.4	575	8.7	15.3	16.6	19.0					
170	5.1	22.7	22.6	22.4	375	11.0	17.4	19.2	21.4	580	8.6	15.2	16.5	18.6					
175	5.5	22.7	22.5	22.2	380	10.8	17.3	19.1	21.4	585	8.4	15.1	16.4	18.6					
180	5.6	22.6	22.5	22.2	385	10.9	17.3	19.1	21.4	590	8.5	15.0	16.3	18.6					
185	6.1	22.4	22.3	22.0	390	11.7	17.3	19.1	21.4	595	8.1	14.7	16.2	18.6					
190	6.2	22.0	22.3	22.0	395	11.8	17.2	19.1	21.4	600	8.0	14.5	16.0	18.6					
195	6.4	21.7	22.2	22.0	400	11.7	17.2	19.1	21.3	605	7.9	14.5	15.8	18.5					
200	6.1	21.4	22.0	21.7	405	11.6	17.2	19.1	21.3	610	7.7	14.4	15.7	18.5					

<부록 9> 주간, 바이오 숯 모르타르 건축자재 실내온도 변화 (방바닥)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	0.3	38.3	38.0	35.8	205	6.3	27.6	27.9	26.9	410	11.3	21.7	22.9	24.1	615	7.5	17.8	19.1	20.5
5	0.6	38.3	38.0	35.7	210	6.2	27.3	27.7	26.4	415	11.7	21.6	22.8	24.1	620	7.3	17.8	19.1	20.4
10	0.6	38.2	38.0	35.6	215	6.5	27.2	27.5	26.3	420	11.9	21.5	22.8	24.0	625	7.3	17.8	18.9	20.4
15	0.8	38.1	37.9	35.4	220	6.9	26.9	27.3	26.3	425	12.3	21.4	22.7	24.0	630	6.8	17.7	18.9	20.3
20	1.2	37.8	37.8	35.4	225	6.6	26.8	27.1	26.2	430	12.1	21.3	22.7	24.0	635	6.4	17.5	18.7	20.3
25	1.4	37.7	37.4	35.0	230	6.9	26.5	27.0	26.0	435	12.1	21.3	22.7	23.6	640	6.8	17.5	18.5	20.2
30	1.6	37.5	37.3	34.9	235	7.1	26.4	26.7	26.0	440	12.2	21.2	22.7	23.7	645	6.3	17.4	18.4	20.2
35	1.8	37.4	36.9	34.5	240	7.1	26.4	26.6	26.0	445	12.0	21.1	22.7	23.6	650	6.9	17.3	18.3	20.2
40	2.0	37.1	36.5	34.2	245	7.4	26.2	26.5	25.9	450	12.2	21.0	22.7	23.4	655	6.7	17.2	18.3	20.0
45	2.1	36.7	36.5	34.0	250	8.0	26.0	26.4	25.6	455	12.0	21.0	22.5	23.3	660	6.5	17.1	18.4	19.9
50	2.0	36.5	36.4	33.7	255	7.7	25.9	26.2	25.6	460	11.6	21.0	22.4	23.2	665	6.8	17.1	18.1	19.9
55	2.1	36.3	35.9	33.3	260	7.7	25.7	26.0	25.6	465	11.5	20.7	22.1	23.2	670	6.4	16.9	18.0	19.9
60	2.4	35.9	35.5	32.8	265	7.9	25.7	25.9	25.6	470	11.7	20.7	22.0	23.2	675	6.2	16.9	17.8	19.9
65	2.7	35.7	35.2	32.8	270	8.5	25.5	25.5	25.6	475	11.8	20.8	21.8	23.0	680	5.4	17.0	17.7	19.9
70	2.4	35.5	34.6	32.6	275	8.5	25.2	25.5	25.6	480	11.7	20.7	21.8	23.0	685	5.3	17.0	17.5	19.9
75	2.9	35.2	34.3	32.4	280	9.1	25.0	25.3	25.4	485	11.6	20.4	21.6	23.0	690	5.5	16.9	17.5	19.7
80	2.9	34.7	34.0	32.1	285	8.4	25.0	25.2	25.3	490	11.4	20.3	21.3	23.0	695	5.4	16.9	17.4	19.7
85	2.9	34.2	33.6	31.8	290	9.1	24.9	25.1	25.2	495	11.4	20.2	21.1	23.0	700	5.1	16.8	17.3	19.6
90	3.1	33.9	33.4	31.4	295	8.7	24.8	25.0	25.2	500	11.3	20.1	20.9	22.9	705	5.1	16.7	17.3	19.6
95	3.3	33.6	33.2	31.1	300	9.1	24.7	25.0	25.2	505	11.0	19.9	20.9	22.9	710	5.2	16.6	17.3	19.5
100	3.5	33.3	33.1	30.8	305	9.2	24.5	25.0	25.2	510	10.9	19.7	20.7	22.7	715	5.1	16.5	17.1	19.4
105	3.4	32.9	32.9	30.6	310	9.7	24.3	24.7	25.1	515	10.6	19.7	20.6	22.6	720	4.9	16.5	17.0	19.4
110	3.4	32.5	32.7	30.3	315	9.5	24.2	24.5	25.1	520	10.3	19.6	20.7	22.5	725	5.2	16.5	17.0	19.4
115	4.0	32.3	32.3	30.0	320	9.9	24.1	24.3	25.1	525	10.1	19.5	20.7	22.5	730	5.0	16.4	17.0	19.4
120	4.1	31.9	32.0	30.0	325	7.9	23.9	24.1	25.1	530	10.0	19.5	20.6	22.5	평균	7.4			
125	4.2	31.6	31.8	29.6	330	9.9	23.6	23.9	25.1	535	9.8	19.4	20.5	22.3					
130	4.1	31.5	31.6	29.5	335	10.3	23.4	23.9	25.1	540	9.7	19.3	20.5	22.3					
135	4.6	31.1	31.2	29.1	340	10.0	23.3	23.7	25.1	545	9.3	19.3	20.3	22.3					
140	4.5	30.9	30.8	29.0	345	10.1	23.2	23.7	25.0	550	9.5	19.2	20.2	21.8					
145	4.4	30.7	30.6	28.8	350	10.8	22.9	23.8	25.0	555	9.3	19.2	20.1	21.7					
150	5.1	30.5	30.5	28.5	355	10.8	22.8	23.5	24.9	560	9.1	19.0	20.1	21.7					
155	4.8	30.3	30.2	28.2	360	11.3	22.6	23.5	24.6	565	9.1	18.9	20.0	21.7					
160	5.0	29.9	30.0	28.0	365	11.3	22.4	23.4	24.6	570	8.9	18.9	19.9	21.6					
165	5.1	29.5	29.8	27.9	370	11.1	22.3	23.3	24.5	575	8.7	18.7	19.8	21.6					
170	5.1	29.3	29.5	27.8	375	11.0	22.1	23.2	24.5	580	8.6	18.5	19.8	21.5					
175	5.5	29.1	29.3	27.5	380	10.8	21.9	23.1	24.5	585	8.4	18.5	19.8	21.5					
180	5.6	28.8	29.2	27.2	385	10.9	21.9	23.1	24.5	590	8.5	18.4	19.7	21.5					
185	6.1	28.5	29.0	27.2	390	11.7	21.8	23.0	24.5	595	8.1	18.3	19.5	21.4					
190	6.2	28.3	28.7	27.2	395	11.8	21.9	23.1	24.5	600	8.0	18.3	19.4	20.7					
195	6.4	28.0	28.3	26.9	400	11.7	21.7	23.1	24.5	605	7.9	18.1	19.4	20.7					
200	6.1	27.7	28.1	26.9	405	11.6	21.7	23.1	24.4	610	7.7	18.0	19.3	20.7					

<부록 10> 야간, 일반건축자재 실내온도 변화 (공기)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	3.6	27.0	27.5	25.9	205	2.6	21.6	21.7	21.0	410	1.4	16.8	16.6	16.8	615	1.4	13.8	16.0	14.3
5	3.7	27.0	27.5	25.9	210	2.6	21.5	21.5	20.8	415	1.2	16.7	16.6	16.8	620	1.3	13.8	16.0	14.3
10	3.6	27.0	27.5	25.9	215	2.5	21.3	21.3	20.6	420	1.4	16.6	16.4	16.8	625	1.0	13.6	16.0	14.2
15	3.4	27.0	27.5	25.9	220	2.5	21.0	21.1	20.4	425	1.4	16.5	16.3	16.6	630	1.3	13.5	16.0	14.2
20	3.7	27.0	27.3	25.9	225	2.5	21.0	21.0	20.3	430	1.4	16.3	16.3	16.5	635	1.1	13.4	16.0	14.2
25	3.6	27.0	27.2	25.7	230	2.4	20.9	20.9	20.0	435	1.5	16.3	16.3	16.5	640	1.3	13.2	16.0	14.2
30	3.6	27.0	27.1	25.7	235	2.2	20.7	20.8	20.0	440	1.5	16.1	16.3	16.3	645	1.2	13.2	16.0	14.2
35	4.0	26.7	27.0	25.5	240	2.4	20.6	20.5	19.8	445	2.0	16.0	16.3	16.3	650	1.1	13.1	16.0	14.0
40	3.7	26.4	27.0	25.3	245	2.4	20.5	20.3	19.8	450	1.7	15.9	16.3	16.2	655	1.1	13.1	16.0	14.0
45	3.9	26.3	26.8	25.1	250	2.3	20.2	20.2	19.7	455	1.7	15.9	16.3	16.1	660	1.4	12.9	16.0	14.0
50	3.8	26.2	26.7	25.0	255	2.3	20.0	20.1	19.6	460	1.5	15.9	16.3	16.0	665	1.1	12.9	16.0	14.0
55	3.5	26.1	26.6	24.3	260	2.2	20.0	20.0	19.6	465	1.6	15.8	16.3	15.9	670	1.5	12.9	16.0	14.0
60	3.9	25.9	26.3	24.3	265	1.9	19.8	20.0	19.4	470	1.6	15.7	16.3	15.9	675	1.4	12.9	16.0	14.0
65	3.6	25.7	26.2	24.3	270	2.1	19.8	20.0	19.2	475	1.8	15.7	16.3	15.9	680	1.3	12.9	16.0	13.8
70	3.6	25.6	26.0	24.3	275	2.0	19.7	19.8	19.0	480	2.0	15.7	16.3	15.8	685	1.1	12.9	16.0	13.8
75	3.9	25.5	25.8	24.3	280	2.2	19.5	19.6	19.0	485	1.9	15.4	16.3	15.7	690	1.2	12.9	16.0	13.8
80	3.4	25.3	25.8	24.0	285	2.1	19.3	19.5	19.0	490	1.7	15.2	16.1	15.6	695	0.9	12.9	16.0	13.8
85	3.3	25.0	25.5	24.0	290	1.8	19.2	19.2	19.0	495	1.6	15.1	16.1	15.6	700	1.0	12.9	16.0	13.8
90	3.3	24.8	25.4	23.8	295	2.0	19.0	19.0	19.0	500	1.6	15.1	16.1	15.5	705	1.1	12.7	16.0	13.8
95	3.6	24.7	25.2	23.8	300	2.1	19.0	19.0	18.8	505	1.7	15.1	16.1	15.5	710	1.2	12.6	16.0	13.8
100	3.3	24.6	25.0	23.6	305	1.8	19.0	18.8	18.6	510	1.7	15.0	16.1	15.5	715	1.4	12.5	16.0	13.8
105	3.3	24.4	25.0	23.4	310	2.0	18.8	18.8	18.4	515	1.4	14.9	16.1	15.3	720	1.3	12.5	16.0	13.8
110	3.6	24.2	24.7	23.4	315	1.8	18.7	18.5	18.2	520	1.5	14.9	16.1	15.2	725	1.2	12.5	16.0	13.8
115	3.3	24.2	24.6	23.2	320	2.0	18.7	18.4	18.2	525	1.4	14.9	16.0	15.2	730	1.6	12.5	16.0	13.8
120	3.2	24.1	24.5	22.9	325	1.7	18.4	18.3	18.2	530	1.2	14.7	16.0	15.2	평균	2.1			
125	3.1	23.9	24.2	22.9	330	1.6	18.2	18.3	18.0	535	1.3	14.6	16.0	15.2					
130	3.2	23.8	24.0	22.7	335	1.4	18.2	18.3	18.0	540	1.0	14.6	16.0	15.0					
135	3.0	23.6	23.9	22.5	340	1.5	18.0	18.3	18.0	545	1.4	14.6	16.0	15.0					
140	3.4	23.5	23.4	22.3	345	1.6	18.0	18.3	18.0	550	1.2	14.6	16.0	15.0					
145	2.9	23.2	23.3	22.3	350	1.8	18.0	18.0	17.8	555	1.2	14.4	16.0	15.0					
150	2.8	23.0	23.3	22.1	355	5.0	17.9	17.8	17.8	560	1.4	14.4	16.0	15.0					
155	2.9	22.9	23.3	22.0	360	1.7	17.8	17.6	17.8	565	1.3	14.4	16.0	14.9					
160	3.3	22.8	23.0	22.0	365	1.8	17.6	17.4	17.6	570	1.3	14.3	16.0	14.9					
165	2.9	22.7	23.0	21.8	370	1.7	17.4	17.2	17.6	575	1.4	14.2	16.0	14.9					
170	2.9	22.5	22.8	21.6	375	1.6	17.2	17.1	17.4	580	1.4	14.2	16.0	14.8					
175	3.0	22.3	22.8	21.4	380	1.6	17.1	17.0	17.4	585	1.4	14.2	16.0	14.6					
180	3.0	22.2	22.5	21.1	385	1.6	17.0	17.0	17.2	590	1.2	14.2	16.0	14.5					
185	2.9	22.1	22.3	21.0	390	1.3	17.0	17.0	17.2	595	1.3	14.0	16.0	14.5					
190	3.1	22.0	22.2	21.0	395	1.5	17.0	17.0	17.2	600	1.3	14.0	16.0	14.4					
195	3.0	21.9	22.0	21.0	400	1.2	17.0	16.9	17.0	605	1.2	13.8	16.0	14.4					
200	2.9	21.8	21.9	21.0	405	1.3	16.9	16.9	16.8	610	1.0	13.8	16.0	14.4					

<부록 11> 야간, 일반건축자재 실내온도 변화 (방바닥)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	3.6	37.4	38.3	36.0	205	2.6	25.1	25.8	24.7	410	1.4	19.4	19.4	19.3	615	1.4	16.1	19.0	16.4
5	3.7	36.8	38.3	36.0	210	2.6	24.8	25.4	24.5	415	1.2	19.3	19.4	19.3	620	1.3	16.0	19.0	16.4
10	3.6	36.3	38.0	35.4	215	2.5	24.7	25.2	24.3	420	1.4	19.2	19.2	19.3	625	1.0	15.9	19.0	16.3
15	3.4	35.8	37.7	34.9	220	2.5	24.6	25.0	24.2	425	1.4	19.1	19.1	19.2	630	1.3	15.9	19.0	16.3
20	3.7	35.4	37.2	34.5	225	2.5	24.4	25.0	24.0	430	1.4	18.9	19.0	19.2	635	1.1	15.9	19.0	16.1
25	3.6	35.0	36.6	34.1	230	2.4	24.2	24.8	24.0	435	1.5	18.7	19.0	19.0	640	1.3	15.8	19.0	16.1
30	3.6	34.5	36.1	33.6	235	2.2	24.0	24.6	23.8	440	1.5	18.5	19.0	19.0	645	1.2	15.6	19.0	16.1
35	4.0	34.2	35.7	33.1	240	2.4	23.8	24.5	23.6	445	2.0	18.4	19.0	18.9	650	1.1	15.6	19.0	16.0
40	3.7	33.8	35.2	32.7	245	2.4	23.7	24.2	23.3	450	1.7	18.5	19.0	18.7	655	1.1	15.5	19.0	16.0
45	3.9	33.6	34.7	32.3	250	2.3	23.6	24.0	23.0	455	1.7	18.2	19.0	18.7	660	1.4	15.5	19.0	15.9
50	3.8	32.6	34.2	31.9	255	2.3	23.3	23.9	23.0	460	1.5	18.0	19.0	18.4	665	1.1	15.5	19.0	15.9
55	3.5	32.3	33.8	31.6	260	2.2	23.1	23.7	22.8	465	1.6	17.8	19.0	18.4	670	1.5	15.5	19.0	15.9
60	3.9	31.9	33.6	31.4	265	1.9	23.0	23.5	22.6	470	1.6	17.8	19.0	18.4	675	1.4	15.4	19.0	15.8
65	3.6	31.7	33.0	31.0	270	2.1	22.9	23.3	22.5	475	1.8	17.8	19.0	18.3	680	1.3	15.4	19.0	15.8
70	3.6	31.5	32.6	30.7	275	2.0	22.9	23.2	22.5	480	2.0	17.8	19.0	18.3	685	1.1	15.3	19.0	15.7
75	3.9	31.3	32.3	30.4	280	2.2	22.7	23.0	22.5	485	1.9	17.8	19.0	18.3	690	1.2	15.2	19.0	15.7
80	3.4	30.9	31.9	30.2	285	2.1	22.5	23.0	22.3	490	1.7	17.8	19.0	18.0	695	0.9	15.1	19.0	15.7
85	3.3	30.6	31.5	30.0	290	1.8	22.4	22.8	22.3	495	1.6	17.8	19.0	18.0	700	1.0	15.1	19.0	15.5
90	3.3	30.3	31.3	29.7	295	2.0	22.2	22.6	22.1	500	1.6	17.7	19.0	18.0	705	1.1	15.0	19.0	15.5
95	3.6	30.0	31.0	29.4	300	2.1	22.2	22.4	21.8	505	1.7	17.5	19.0	17.8	710	1.2	15.0	19.0	15.5
100	3.3	29.7	30.6	28.9	305	1.8	22.0	22.2	21.6	510	1.7	17.4	19.0	17.8	715	1.4	15.0	19.0	15.5
105	3.3	29.6	30.5	28.7	310	2.0	21.7	22.1	21.6	515	1.4	17.2	19.0	17.8	720	1.3	14.7	19.0	15.5
110	3.6	29.3	30.3	28.5	315	1.8	21.5	22.0	21.5	520	1.5	17.2	19.0	17.8	725	1.2	14.5	19.0	15.5
115	3.3	29.1	29.9	28.2	320	2.0	21.5	21.9	21.5	525	1.4	17.2	19.0	17.6	730	1.6	14.5	19.0	15.5
120	3.2	28.8	29.7	27.9	325	1.7	21.4	21.7	21.2	530	1.2	17.0	19.0	17.5	평균	2.1			
125	3.1	28.5	29.5	27.6	330	1.6	21.3	21.5	21.0	535	1.3	17.0	19.0	17.4					
130	3.2	28.3	29.2	27.5	335	1.4	21.2	21.4	20.8	540	1.0	17.0	19.0	17.4					
135	3.0	28.0	28.9	27.2	340	1.5	21.2	21.2	20.6	545	1.4	17.0	19.0	17.4					
140	3.4	27.8	28.8	27.0	345	1.6	21.0	21.0	20.5	550	1.2	17.0	19.0	17.4					
145	2.9	27.7	28.4	26.8	350	1.8	20.9	21.0	20.5	555	1.2	17.0	19.0	17.2					
150	2.8	27.3	28.2	26.5	355	5.0	20.7	20.8	20.5	560	1.4	17.0	19.0	17.2					
155	2.9	27.1	27.9	26.4	360	1.7	20.6	20.7	20.4	565	1.3	16.9	19.0	17.2					
160	3.3	26.9	27.6	26.3	365	1.8	20.5	20.5	20.4	570	1.3	16.9	19.0	17.2					
165	2.9	26.8	27.4	26.0	370	1.7	20.3	20.3	20.4	575	1.4	16.8	19.0	17.0					
170	2.9	26.6	27.1	25.5	375	1.6	20.3	20.2	20.2	580	1.4	16.6	19.0	17.0					
175	3.0	26.4	27.0	25.3	380	1.6	20.1	20.1	20.0	585	1.4	16.4	19.0	16.8					
180	3.0	26.2	26.7	25.1	385	1.6	20.1	20.0	20.0	590	1.2	16.4	19.0	16.8					
185	2.9	26.0	26.6	25.1	390	1.3	20.0	19.9	19.8	595	1.3	16.4	19.0	16.8					
190	3.1	25.8	26.3	25.1	395	1.5	19.8	19.7	19.7	600	1.3	16.4	19.0	16.6					
195	3.0	25.7	26.0	25.0	400	1.2	19.6	19.6	19.5	605	1.2	16.2	19.0	16.6					
200	2.9	25.4	26.0	24.8	405	1.3	19.5	19.6	19.4	610	1.0	16.1	19.0	16.6					

<부록 12> 야간, 숯 모르타르 건축자재 실내온도 변화 (공기)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	3.6	25.4	25.4	25.5	205	2.6	22.1	22.8	22.3	410	1.4	18.5	19.1	18.9	615	1.4	15.3	16.1	16.6
5	3.7	25.4	25.4	25.3	210	2.6	22.1	22.6	22.2	415	1.2	18.5	19.1	18.9	620	1.3	15.3	15.9	16.5
10	3.6	24.9	25.1	25.2	215	2.5	22.1	22.6	22.2	420	1.4	18.2	19.1	18.9	625	1.0	15.3	15.8	16.5
15	3.4	24.9	25.1	25.1	220	2.5	21.9	22.6	22.1	425	1.4	18.1	19.1	18.9	630	1.3	15.3	15.8	16.3
20	3.7	24.9	25.1	25.1	225	2.5	21.9	22.5	22.0	430	1.4	18.1	19.1	18.7	635	1.1	15.3	15.7	16.2
25	3.6	24.9	25.1	25.1	230	2.4	21.9	22.3	22.0	435	1.5	18.1	19.1	18.6	640	1.3	15.3	15.7	16.2
30	3.6	24.9	25.1	25.1	235	2.2	21.6	22.1	22.0	440	1.5	18.1	18.8	18.6	645	1.2	15.3	15.6	16.2
35	4.0	24.9	25.1	25.1	240	2.4	21.6	22.1	21.8	445	2.0	18.1	18.8	18.4	650	1.1	15.3	15.5	16.2
40	3.7	24.9	25.1	25.1	245	2.4	21.6	22.1	21.6	450	1.7	18.1	18.8	18.4	655	1.1	15.1	15.5	16.2
45	3.9	24.9	25.1	25.1	250	2.3	21.6	22.1	21.6	455	1.7	17.9	18.8	18.4	660	1.4	14.8	15.3	16.2
50	3.8	24.9	25.1	25.1	255	2.3	21.3	21.9	21.6	460	1.5	17.9	18.6	18.4	665	1.1	14.8	15.3	16.0
55	3.5	24.9	25.1	24.8	260	2.2	21.1	21.7	21.6	465	1.6	17.9	18.4	18.4	670	1.5	14.8	15.3	16.0
60	3.9	24.5	25.1	24.5	265	1.9	21.1	21.6	21.6	470	1.6	17.7	18.1	18.4	675	1.4	14.8	15.3	16.0
65	3.6	24.4	25.1	24.3	270	2.1	21.1	21.4	21.3	475	1.8	17.7	18.1	18.2	680	1.3	14.6	15.0	16.0
70	3.6	24.3	25.1	24.3	275	2.0	21.1	21.4	21.0	480	2.0	17.5	17.9	18.0	685	1.1	14.6	14.9	16.0
75	3.9	24.3	25.1	24.3	280	2.2	20.7	21.4	21.0	485	1.9	17.2	17.9	18.0	690	1.2	14.6	14.9	16.0
80	3.4	24.3	25.1	24.3	285	2.1	20.5	21.4	21.0	490	1.7	17.0	17.9	18.0	695	0.9	14.6	14.9	16.0
85	3.3	24.3	25.1	24.3	290	1.8	20.5	21.1	21.0	495	1.6	17.0	17.9	18.0	700	1.0	14.6	14.9	16.0
90	3.3	24.0	25.1	24.3	295	2.0	20.3	21.1	20.7	500	1.6	17.0	17.9	18.0	705	1.1	14.4	14.7	16.0
95	3.6	24.0	24.9	24.3	300	2.1	20.3	21.1	20.5	505	1.7	17.0	17.9	18.0	710	1.2	14.4	14.6	16.0
100	3.3	24.0	24.5	24.3	305	1.8	20.2	21.1	20.5	510	1.7	17.0	17.6	18.0	715	1.4	14.4	14.5	16.0
105	3.3	24.0	24.5	24.2	310	2.0	20.1	20.8	20.4	515	1.4	16.9	17.4	17.9	720	1.3	14.4	14.4	16.0
110	3.6	24.0	24.5	24.0	315	1.8	20.0	20.6	20.3	520	1.5	16.7	17.2	17.8	725	1.2	14.3	14.3	16.0
115	3.3	24.0	24.3	24.0	320	2.0	19.9	20.4	20.2	525	1.4	16.4	17.2	17.8	730	1.6	14.3	14.3	16.0
120	3.2	24.0	24.3	23.8	325	1.7	19.8	20.4	20.1	530	1.2	16.3	17.1	17.6	평균	2.1			
125	3.1	23.6	24.3	23.8	330	1.6	19.7	20.4	20.0	535	1.3	16.3	17.1	17.6					
130	3.2	23.5	24.1	23.8	335	1.4	19.7	20.2	20.0	540	1.0	16.3	17.1	17.4					
135	3.0	23.4	24.0	23.8	340	1.5	19.7	20.2	20.0	545	1.4	16.3	17.1	17.4					
140	3.4	23.4	24.0	23.5	345	1.6	19.7	20.2	20.0	550	1.2	16.1	17.1	17.2					
145	2.9	23.1	24.0	23.3	350	1.8	19.7	20.0	20.0	555	1.2	16.1	17.1	17.2					
150	2.8	23.1	24.0	23.0	355	5.0	19.7	20.0	19.9	560	1.4	16.1	17.1	17.2					
155	2.9	22.9	23.9	23.0	360	1.7	19.7	19.9	19.9	565	1.3	16.1	17.1	17.2					
160	3.3	22.9	23.7	23.0	365	1.8	19.7	19.9	19.9	570	1.3	16.1	17.1	17.2					
165	2.9	22.8	23.7	23.0	370	1.7	19.4	19.9	19.8	575	1.4	16.0	16.9	17.2					
170	2.9	22.6	23.7	23.0	375	1.6	19.1	19.9	19.8	580	1.4	16.0	16.7	17.2					
175	3.0	22.4	23.7	22.8	380	1.6	19.1	19.9	19.6	585	1.4	16.0	16.5	17.0					
180	3.0	22.4	23.4	22.8	385	1.6	19.1	19.6	19.6	590	1.2	15.8	16.5	17.0					
185	2.9	22.4	23.4	22.7	390	1.3	19.1	19.6	19.4	595	1.3	15.7	16.3	17.0					
190	3.1	22.4	23.3	22.5	395	1.5	18.8	19.6	19.2	600	1.3	15.7	16.1	16.9					
195	3.0	22.4	23.1	22.5	400	1.2	18.8	19.6	19.2	605	1.2	15.6	16.1	16.8					
200	2.9	22.1	23.0	22.5	405	1.3	18.5	19.3	19.0	610	1.0	15.6	16.1	16.8					

<부록 13> 야간, 숯 모르타르 건축자재 실내온도 변화 (방바닥)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	3.6	33.9	34.8	34.3	205	2.6	27.8	28.6	28.0	410	1.4	22.7	23.7	23.7	615	1.4	19.3	19.9	20.5
5	3.7	33.8	34.8	34.0	210	2.6	27.7	28.5	28.0	415	1.2	22.5	23.5	23.5	620	1.3	19.3	19.9	20.5
10	3.6	33.7	34.7	34.0	215	2.5	27.7	28.2	27.7	420	1.4	22.5	23.3	23.5	625	1.0	19.3	19.9	20.5
15	3.4	33.6	34.6	34.0	220	2.5	27.5	28.1	27.5	425	1.4	22.5	23.3	23.4	630	1.3	19.2	19.9	20.3
20	3.7	33.4	34.6	33.8	225	2.5	27.0	28.0	27.4	430	1.4	22.5	23.2	23.3	635	1.1	19.1	19.7	20.2
25	3.6	33.2	34.5	33.6	230	2.4	26.9	27.9	27.3	435	1.5	22.4	23.2	23.2	640	1.3	19.1	19.6	20.1
30	3.6	32.9	34.4	33.4	235	2.2	26.8	27.8	27.3	440	1.5	22.3	23.0	23.1	645	1.2	19.0	19.6	20.0
35	4.0	32.7	34.0	33.2	240	2.4	26.7	27.7	27.2	445	2.0	22.3	23.0	23.1	650	1.1	18.9	19.6	20.0
40	3.7	32.5	33.8	32.9	245	2.4	26.7	27.5	27.1	450	1.7	22.3	23.0	22.9	655	1.1	18.8	19.4	20.0
45	3.9	32.5	33.6	32.6	250	2.3	26.6	27.4	27.0	455	1.7	22.3	22.7	22.9	660	1.4	18.8	19.4	20.0
50	3.8	32.5	33.4	32.4	255	2.3	26.4	27.3	26.9	460	1.5	22.3	22.6	22.9	665	1.1	18.8	19.4	20.0
55	3.5	32.2	33.1	32.2	260	2.2	26.3	27.1	26.8	465	1.6	22.1	22.6	22.8	670	1.5	18.6	19.3	19.8
60	3.9	32.0	32.9	32.2	265	1.9	26.0	27.0	26.6	470	1.6	22.0	22.4	22.7	675	1.4	18.6	19.2	19.8
65	3.6	31.8	32.7	32.1	270	2.1	26.0	27.0	26.5	475	1.8	21.8	22.4	22.7	680	1.3	18.6	18.9	19.8
70	3.6	31.5	32.6	31.8	275	2.0	25.9	26.8	26.4	480	2.0	21.8	22.4	22.5	685	1.1	18.6	18.9	19.8
75	3.9	31.3	32.5	31.6	280	2.2	25.6	26.7	26.4	485	1.9	21.7	22.1	22.5	690	1.2	18.6	18.9	19.8
80	3.4	31.2	32.2	31.4	285	2.1	25.6	26.7	26.2	490	1.7	21.6	22.0	22.3	695	0.9	18.6	18.7	19.8
85	3.3	30.9	32.2	31.3	290	1.8	25.6	26.4	26.1	495	1.6	21.4	22.0	22.3	700	1.0	18.5	18.6	19.8
90	3.3	30.6	32.2	31.2	295	2.0	25.6	26.3	25.9	500	1.6	21.3	21.9	22.3	705	1.1	18.5	18.4	19.8
95	3.6	30.4	31.9	31.1	300	2.1	25.3	26.2	25.8	505	1.7	21.1	21.6	22.3	710	1.2	18.3	18.4	19.8
100	3.3	30.4	31.7	31.0	305	1.8	25.0	26.0	25.6	510	1.7	21.1	21.6	22.3	715	1.4	18.3	18.3	19.8
105	3.3	30.4	31.6	30.9	310	2.0	25.0	25.8	25.6	515	1.4	21.1	21.6	22.1	720	1.3	18.0	18.3	19.7
110	3.6	30.2	31.5	30.8	315	1.8	25.0	25.8	25.4	520	1.5	20.9	21.6	21.9	725	1.2	17.9	18.2	19.6
115	3.3	30.0	31.3	30.6	320	2.0	24.8	25.6	25.1	525	1.4	20.7	21.5	21.7	730	1.6	17.9	18.2	19.6
120	3.2	30.0	31.1	30.4	325	1.7	24.7	25.5	25.0	530	1.2	20.7	21.4	21.6	평균	2.1			
125	3.1	29.8	30.9	30.4	330	1.6	24.5	25.3	24.8	535	1.3	20.7	21.4	21.5					
130	3.2	29.8	30.7	30.3	335	1.4	24.5	25.3	24.8	540	1.0	20.6	21.1	21.5					
135	3.0	29.5	30.5	30.0	340	1.5	24.5	25.2	24.7	545	1.4	20.5	21.1	21.5					
140	3.4	29.4	30.4	29.7	345	1.6	24.3	25.1	24.7	550	1.2	20.4	21.0	21.5					
145	2.9	29.4	30.2	29.6	350	1.8	24.1	25.0	24.6	555	1.2	20.3	20.9	21.5					
150	2.8	28.9	30.1	29.5	355	5.0	24.1	24.9	24.5	560	1.4	20.3	20.8	21.4					
155	2.9	28.7	29.9	29.2	360	1.7	24.1	24.8	24.5	565	1.3	20.2	20.7	21.4					
160	3.3	28.6	29.9	29.0	365	1.8	24.1	24.6	24.5	570	1.3	20.1	20.6	21.2					
165	2.9	28.5	29.8	28.8	370	1.7	23.8	24.6	24.4	575	1.4	20.0	20.6	21.1					
170	2.9	28.3	29.7	28.6	375	1.6	23.7	24.4	24.4	580	1.4	20.0	20.6	21.0					
175	3.0	28.3	29.5	28.4	380	1.6	23.7	24.3	24.3	585	1.4	19.9	20.3	21.0					
180	3.0	28.2	29.4	28.3	385	1.6	23.5	24.3	24.2	590	1.2	19.9	20.2	20.8					
185	2.9	28.2	29.2	28.2	390	1.3	23.4	24.3	24.1	595	1.3	19.7	20.1	20.7					
190	3.1	28.1	29.1	28.1	395	1.5	23.4	24.1	24.0	600	1.3	19.6	20.1	20.7					
195	3.0	28.1	28.9	28.1	400	1.2	23.1	24.0	23.8	605	1.2	19.4	20.0	20.7					
200	2.9	27.9	28.7	28.0	405	1.3	22.8	23.9	23.8	610	1.0	19.4	19.9	20.6					

<부록 14> 야간, 바이오숯 모르타르 건축자재 실내온도 변화 (공기)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	3.6	25.2	25.3	25.8	205	2.6	21.0	21.5	22.0	410	1.4	16.7	17.0	17.9	615	1.4	13.6	14.0	15.0
5	3.7	25.2	25.3	25.8	210	2.6	20.9	21.4	21.7	415	1.2	16.7	17.0	17.6	620	1.3	13.5	13.9	15.0
10	3.6	25.2	25.2	25.8	215	2.5	20.6	21.3	21.4	420	1.4	16.7	16.9	17.3	625	1.0	13.5	13.8	15.0
15	3.4	25.2	25.2	25.8	220	2.5	20.6	21.1	21.2	425	1.4	16.5	16.8	17.1	630	1.3	13.5	13.6	15.0
20	3.7	25.0	25.0	25.8	225	2.5	20.5	21.1	21.2	430	1.4	16.5	16.6	17.0	635	1.1	13.5	13.5	14.8
25	3.6	24.9	25.0	25.8	230	2.4	20.4	20.0	21.2	435	1.5	16.5	16.4	17.0	640	1.3	13.5	13.3	14.8
30	3.6	24.9	25.0	25.8	235	2.2	20.0	19.8	21.1	440	1.5	16.3	16.3	17.0	645	1.2	13.5	13.2	14.8
35	4.0	24.7	25.0	25.8	240	2.4	20.0	19.6	21.0	445	2.0	16.2	16.2	16.8	650	1.1	13.3	13.1	14.6
40	3.7	24.7	25.0	25.5	245	2.4	19.9	19.6	20.7	450	1.7	16.1	16.1	16.8	655	1.1	13.2	13.1	14.6
45	3.9	24.7	25.0	25.4	250	2.3	19.8	19.6	20.5	455	1.7	16.0	16.1	16.7	660	1.4	13.1	13.1	14.5
50	3.8	24.5	25.0	25.3	255	2.3	19.8	19.6	20.5	460	1.5	15.9	16.0	16.6	665	1.1	13.1	13.1	14.5
55	3.5	24.5	24.7	25.1	260	2.2	19.7	19.6	20.5	465	1.6	15.9	15.8	16.6	670	1.5	13.0	13.0	14.5
60	3.9	24.5	24.5	25.0	265	1.9	19.6	19.6	20.5	470	1.6	15.8	15.8	16.5	675	1.4	13.0	13.0	14.5
65	3.6	24.2	24.5	24.8	270	2.1	19.4	19.4	20.2	475	1.8	15.8	15.6	16.3	680	1.3	13.0	13.0	14.5
70	3.6	24.2	24.3	24.8	275	2.0	19.4	19.4	20.0	480	2.0	15.8	15.5	16.1	685	1.1	13.0	12.9	14.5
75	3.9	24.0	24.3	24.8	280	2.2	19.4	19.4	20.0	485	1.9	15.6	15.5	16.1	690	1.2	13.0	12.8	14.5
80	3.4	24.0	24.3	24.8	285	2.1	19.3	19.4	19.9	490	1.7	15.6	15.5	16.1	695	0.9	13.0	12.8	14.5
85	3.3	23.9	24.3	24.5	290	1.8	19.2	19.4	19.8	495	1.6	15.4	15.5	16.1	700	1.0	13.0	12.8	14.5
90	3.3	23.5	24.3	24.3	295	2.0	19.0	19.4	19.8	500	1.6	15.3	15.3	16.1	705	1.1	13.0	12.8	14.4
95	3.6	23.5	24.2	24.1	300	2.1	19.3	19.3	19.6	505	1.7	15.3	15.1	16.1	710	1.2	12.9	12.6	14.3
100	3.3	23.5	24.0	24.0	305	1.8	19.2	19.3	19.6	510	1.7	15.3	15.1	16.1	715	1.4	12.9	12.5	14.3
105	3.3	23.2	23.9	24.0	310	2.0	18.5	19.3	19.6	515	1.4	15.3	15.1	16.1	720	1.3	12.8	12.5	14.3
110	3.6	23.2	23.8	24.0	315	1.8	18.5	18.9	19.5	520	1.5	15.0	15.0	15.9	725	1.2	12.8	12.5	14.1
115	3.3	23.0	23.8	23.8	320	2.0	18.5	18.7	19.2	525	1.4	15.0	15.0	15.9	730	1.6	12.8	12.3	14.1
120	3.2	22.9	23.7	23.8	325	1.7	18.2	18.4	19.0	530	1.2	15.0	15.0	15.9	평균	2.1			
125	3.1	22.5	23.5	23.8	330	1.6	18.2	18.4	18.7	535	1.3	15.0	15.0	15.9					
130	3.2	22.5	23.5	23.8	335	1.4	18.0	18.4	18.7	540	1.0	14.7	15.0	15.9					
135	3.0	22.5	23.3	23.5	340	1.5	18.0	18.4	18.5	545	1.4	14.6	15.0	15.8					
140	3.4	22.5	23.0	23.2	345	1.6	17.8	18.4	18.5	550	1.2	14.5	14.9	15.7					
145	2.9	22.2	23.0	23.0	350	1.8	17.8	18.4	18.5	555	1.2	14.5	14.8	15.5					
150	2.8	22.2	23.0	22.9	355	5.0	17.8	18.2	18.4	560	1.4	14.5	14.5	15.5					
155	2.9	22.0	22.7	22.8	360	1.7	17.8	18.2	18.4	565	1.3	14.5	14.4	15.5					
160	3.3	21.9	22.5	22.8	365	1.8	17.8	17.7	18.4	570	1.3	14.5	14.4	15.5					
165	2.9	21.9	22.5	22.8	370	1.7	17.5	17.7	18.4	575	1.4	14.2	14.4	15.5					
170	2.9	21.8	22.5	22.8	375	1.6	17.3	17.5	18.4	580	1.4	14.1	14.2	15.4					
175	3.0	21.6	22.2	22.6	380	1.6	17.2	17.4	18.1	585	1.4	14.1	14.1	15.3					
180	3.0	21.6	22.2	22.5	385	1.6	17.0	17.2	17.9	590	1.2	14.0	14.0	15.2					
185	2.9	21.6	22.0	22.4	390	1.3	17.0	17.2	17.9	595	1.3	14.0	14.0	15.2					
190	3.1	21.3	22.0	22.2	395	1.5	17.0	17.2	17.9	600	1.3	14.0	14.0	15.1					
195	3.0	21.1	22.0	22.1	400	1.2	16.8	17.1	17.9	605	1.2	13.9	14.0	15.1					
200	2.9	21.0	21.8	22.0	405	1.3	16.8	17.0	17.9	610	1.0	13.7	14.0	15.0					

<부록 15> 야간, 바이오 숯 모르타르 건축자재 실내온도 변화 (방바닥)

시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)				시간	온 도 (℃)			
	외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차		외부	1차	2차	3차
0	3.6	33.5	34.1	35.0	205	2.6	25.4	26.3	26.6	410	1.4	20.3	20.6	21.0	615	1.4	16.9	17.2	18.0
5	3.7	33.5	34.1	35.0	210	2.6	25.2	26.2	26.5	415	1.2	20.2	20.6	20.8	620	1.3	16.9	17.2	18.0
10	3.6	33.5	34.1	35.0	215	2.5	25.0	25.9	26.3	420	1.4	20.2	20.6	20.7	625	1.0	16.8	17.0	18.0
15	3.4	33.5	34.1	35.0	220	2.5	24.9	25.8	26.2	425	1.4	20.2	20.6	20.7	630	1.3	16.8	17.0	18.0
20	3.7	33.2	34.0	34.9	225	2.5	24.7	25.6	26.0	430	1.4	20.2	20.6	20.6	635	1.1	16.8	17.0	18.0
25	3.6	33.1	34.1	34.8	230	2.4	24.5	25.6	25.9	435	1.5	20.0	20.4	20.6	640	1.3	16.8	16.8	17.9
30	3.6	32.7	33.8	34.8	235	2.2	24.5	25.4	25.6	440	1.5	19.9	20.2	20.6	645	1.2	16.8	16.7	17.9
35	4.0	32.5	33.6	34.5	240	2.4	24.4	25.2	25.5	445	2.0	19.9	20.1	20.4	650	1.1	16.7	16.5	17.9
40	3.7	32.2	33.5	34.3	245	2.4	24.3	24.9	25.5	450	1.7	19.8	20.1	20.3	655	1.1	16.5	16.4	17.9
45	3.9	32.1	33.4	33.9	250	2.3	24.3	24.6	25.4	455	1.7	19.6	20.1	20.2	660	1.4	16.4	16.4	17.7
50	3.8	32.1	33.1	33.7	255	2.3	23.9	24.5	25.4	460	1.5	19.5	19.8	20.1	665	1.1	16.4	16.4	17.6
55	3.5	31.8	32.8	33.4	260	2.2	23.8	24.4	25.1	465	1.6	19.4	19.8	20.1	670	1.5	16.4	16.4	17.6
60	3.9	31.4	32.6	32.7	265	1.9	23.8	24.2	24.9	470	1.6	19.3	19.8	20.1	675	1.4	16.4	16.4	17.6
65	3.6	31.2	32.3	32.6	270	2.1	23.5	24.2	24.7	475	1.8	19.1	19.8	20.0	680	1.3	16.3	16.3	17.4
70	3.6	30.9	32.3	32.5	275	2.0	23.5	24.2	24.5	480	2.0	18.9	19.7	19.8	685	1.1	16.1	16.1	17.4
75	3.9	30.7	31.9	32.2	280	2.2	23.3	24.0	24.5	485	1.9	18.9	19.5	19.8	690	1.2	16.1	16.1	17.4
80	3.4	30.5	31.5	32.0	285	2.1	23.1	23.9	24.4	490	1.7	18.8	19.4	19.7	695	0.9	16.1	16.1	17.4
85	3.3	30.3	31.4	31.7	290	1.8	22.9	23.8	24.2	495	1.6	18.8	19.2	19.7	700	1.0	16.1	16.0	17.4
90	3.3	29.6	31.2	31.5	295	2.0	22.8	23.6	24.1	500	1.6	18.8	19.0	19.7	705	1.1	16.1	16.0	17.2
95	3.6	29.5	31.1	31.2	300	2.1	22.6	23.5	23.9	505	1.7	18.8	18.8	19.7	710	1.2	16.1	15.9	17.2
100	3.3	29.3	30.7	30.9	305	1.8	22.5	23.3	23.7	510	1.7	18.8	18.8	19.6	715	1.4	15.9	15.9	17.2
105	3.3	29.2	30.5	30.8	310	2.0	22.5	23.0	23.5	515	1.4	18.8	18.8	19.6	720	1.3	15.9	15.9	17.2
110	3.6	28.8	30.0	30.7	315	1.8	22.4	22.7	23.5	520	1.5	18.4	18.5	19.4	725	1.2	15.9	15.8	17.2
115	3.3	28.7	29.8	30.4	320	2.0	22.2	22.7	23.3	525	1.4	18.4	18.5	19.4	730	1.6	15.9	15.7	17.2
120	3.2	28.5	29.5	30.1	325	1.7	22.2	22.7	23.2	530	1.2	18.4	18.5	19.4	평균	2.1			
125	3.1	28.1	29.4	29.8	330	1.6	22.0	22.5	22.9	535	1.3	18.3	18.5	19.3					
130	3.2	27.9	29.1	29.7	335	1.4	21.8	22.5	22.7	540	1.0	18.1	18.3	19.2					
135	3.0	27.7	28.9	29.5	340	1.5	21.8	22.4	22.5	545	1.4	18.1	18.3	19.1					
140	3.4	27.7	28.6	29.2	345	1.6	21.5	21.9	22.5	550	1.2	18.0	18.2	19.0					
145	2.9	27.3	28.4	29.0	350	1.8	21.5	21.9	22.4	555	1.2	18.0	18.1	18.9					
150	2.8	27.1	28.3	28.7	355	5.0	21.5	21.8	22.4	560	1.4	18.0	18.0	18.8					
155	2.9	26.8	27.9	28.4	360	1.7	21.5	21.4	22.4	565	1.3	18.0	18.0	18.8					
160	3.3	26.7	27.7	28.4	365	1.8	21.5	21.6	22.4	570	1.3	18.0	18.0	18.8					
165	2.9	26.7	27.6	28.2	370	1.7	21.1	21.5	22.2	575	1.4	17.6	17.9	18.7					
170	2.9	26.7	27.5	28.0	375	1.6	20.9	21.4	22.2	580	1.4	17.6	17.8	18.5					
175	3.0	26.4	27.2	27.8	380	1.6	20.7	21.4	22.1	585	1.4	17.6	17.7	18.3					
180	3.0	26.3	27.0	27.5	385	1.6	20.7	21.2	21.8	590	1.2	17.3	17.7	18.3					
185	2.9	26.3	26.9	27.3	390	1.3	20.7	21.2	21.7	595	1.3	17.1	17.7	18.3					
190	3.1	25.9	26.8	27.1	395	1.5	20.7	21.0	21.6	600	1.3	17.1	17.7	18.3					
195	3.0	25.7	26.5	26.9	400	1.2	20.4	20.9	21.6	605	1.2	17.1	17.5	18.2					
200	2.9	25.6	26.5	26.7	405	1.3	20.4	20.7	21.4	610	1.0	17.1	17.3	18.1					

< 부록 16 > 2005년도 온도 측정기록부

월/일	날씨	외온		월/일	날씨	외온		월/일	날씨	외온		월/일	날씨	외온	
		최고	최저			최고	최저			최고	최저			최고	최저
1/1	맑음	−2	−9	2/1	맑음	−3	−15	3/1	맑음	−5	−9	4/1	맑음	6	3
1/2	맑음	−1	−8	2/2	맑음	−2	−15	3/2	눈	−3	−4	4/2	맑음	9	2
1/3	비	2	−5	2/3	맑음	−5	−14	3/3	맑음	−3	−10	4/3	비	6	3
1/4	맑음	5	−12	2/4	맑음	−4	−10	3/4	맑음	2	−9	4/4	맑음	6	1
1/5	맑음	−2	−15	2/5	맑음	0	−9	3/5	맑음	2	−8	4/5	맑음	6	2
1/6	맑음	−3	−6	2/6	맑음	0	−9	3/6	맑음	−5	−8	4/6	맑음	7	6
1/7	맑음	2	−16	2/7	흐림	3	−4	3/7	맑음	−3	−4	4/7	맑음	12	11
1/8	눈	1	−16	2/8	맑음	4	−4	3/8	맑음	−3	6	4/8	맑음	12	2
1/9	맑음	1	−16	2/9	흐림	3	−4	3/9	흐림	6	−6	4/9	비	8	6
1/10	맑음	1	−16	2/10	맑음	−3	−11	3/10	맑음	2	1	4/10	맑음	14	12
1/11	맑음	0	−18	2/11	맑음	−8	−14	3/11	맑음	−3	−9	4/11	맑음	10	6
1/12	맑음	3	−16	2/12	맑음	−5	−13	3/12	맑음	0	−5	4/12	맑음	6	4
1/13	맑음	−1	−15	2/13	맑음	−5	−12	3/13	맑음	−1	−3	4/13	맑음	8	5
1/14	맑음	−1	−11	2/14	맑음	2	−8	3/14	맑음	−1	−3	4/14	맑음	7	6
1/15	맑.눈	0	−12	2/15	비	−1	−12	3/15	맑음	5	−1	4/15	맑음	6	4
1/16	맑음	1	−5	2/16	눈	0	0	3/16	맑음	6	0	4/16	맑음	8	7
1/17	맑음	3	−11	2/17	맑음	2	2	3/17	비	10	0	4/17	맑음	7	5
1/18	맑음	1	−5	2/18	흐림	1	−6	3/18	맑음	6	2	4/18	비	12	9
1/19	맑음	1	−11	2/19	흐림	1	−3	3/19	맑음	6	4				
1/20	맑음	−1	−9	2/20	맑음	−3	−12	3/20	맑음	4	3				
1/21	맑음	−5	−15	2/21	맑음	−1	−14	3/21	맑음	6	−4				
1/22	맑음	−4	−10	2/22	눈	−5	−7	3/22	비	6	1				
1/23	맑음	−3	−12	2/23	맑음	−5	−5	3/23	맑음	6	1				
1/24	맑음	−3	−12	2/24	맑음	−1	−9	3/24	맑음	6	−1				
1/25	맑음	−5	−13	2/25	맑음	3	−9	3/25	맑음	2	−3				
1/26	맑음	−5	−14	2/26	맑음	−5	−4	3/26	맑음	1	0				
1/27	맑음	−3	−13	2/27	맑음	−7	−13	3/27	맑음	8	2				
1/28	맑음	−4	−14	2/28	맑음	0	−8	3/28	맑음	12	0				
1/29	눈	−3	−15					3/29	맑음	6	1				
1/30	맑음	0	−11					3/30	맑음	12	4				
1/31	맑음	−4	−14					3/31	맑음	5	4				

주 의

1. 이 보고서는 산림청에서 시행한 임업연구용역사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 산림청에서 시행한 임업연구용역사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.